

九十一年度
國科會光電工程學門

執行成果報告

計畫主持人：王維新 教授

參與人員：王英珠

計畫編號：NSC91-2217-E-002-003

執行單位：台灣大學電機工程學系

執行期間：91年1月1日至91年12月31日

目 錄

一、	學門規劃情形.....	1
二、	學門重點推動情形.....	1
三、	學門國內外參訪活動及心得.....	1
四、	學門國際合作研究活動.....	2
五、	學門業務數據化之說明.....	2
六、	學門大事紀.....	7
七、	其他.....	8
八、	附件	
	附件一 光電學門會議紀錄	
	附件二 光電學門網頁	
	附件三 光電學門代發公告	
	附件四 光電學門人才資料庫	
	附件五 光電學門近況簡介	
	附件六 光電學門研究發展規劃報告	
	附件七 光電學門英文簡介	

一、學門規劃情形

光電學門根據目前光電研究領域規劃成下列六大類：

- 1.光纖與波導光學—主動與被動光纖元件、平面波導元件、光纖通訊系統。
- 2.光電子材料元件與模組—遙測用之半導體雷射、光感測器與偵測器、光電子積體電路、寬能隙半導體材料及元件、光電子封裝技術、微光機電、有機發光材料與元件、記錄元件、太陽電池、奈米光電。
- 3.量子電子學與雷射科技—先進固態雷射、超快光學、光電子學、量子光學、非線性光學材料及元件、雷射精微材料處理。
- 4.資訊光學—先進顯示及光儲存科技、平面顯示器、光訊處理、光計算、光連結、全像術。
- 5.光學工程—光電系統設計、光學元件製作、光學鍍膜、光學量測、微光學元件設計、顯微術、紅外線工程、色彩學及其應用。
- 6.生醫光電—生物工程與應用、醫學工程與應用。

二、學門重點推動情形

光電學門八十九年度開始推動「DWDM 前瞻研究計畫」，本年度為第三年，研究項目和核准情形如下：

(一)研究項目：

- (1) System and Transmission Design
- (2) Active Devices and Components
- (3) Passive Devices and Components
- (4) Packaging
- (5) Module

(二)計畫核准情形：

約佔學門九十一年度總經費的 30%

計畫類別	件數	經費(仟元)
整合型	4群(19件)	23,615
個別型	15件	17,514
合計	34件	41,129

三、學門國內外參訪活動及心得

國內：

本次學門成果發表會與 OPT2002 合併，於 12 月 12 日及 13 日兩日在國立台灣科技大學舉辦，與會人員超過九百人，較往年大幅增加，發表論文口頭報告 297 篇、壁報論文 152 篇及邀請論文 16 篇，共有 465 篇；本年度仍與往年一樣，設有最佳學生論文獎及最佳壁報論文獎，最佳學生論文獎由 IEEE/LEOS 台北分會、OSA 台北分會及 SPIE 台灣分會提供。另外有其他配合活動，如短期課程、廠商展示及廠商徵才等。

國外：

本年度邀請國外學者專家訪問者計有：

- 1.成功大學蘇炎坤教授於三月間邀請日本早稻田大學堀越佳治(Horikoshi Yoshiji)教授訪問成功大學及中山大學並發表演講，介紹其專利之 Migration-Enhanced Epitaxy, MME

及 Flow Rate Modulation Epitaxy, FME 等磊晶技術。

2. 交通大學王興宗教授邀請德國 Stuttgart 大學 Manfred Pilkuhn 教授來訪，交流光電半導體研究心得，並在半導體光電材料與元件研討會發表演講，講題為「Recent Progress in GaN Laser Development」。
3. 交通大學潘犀靈教授十二月間邀請美國馬里蘭大學電機系李齊湘教授來台，李教授為超快光學國際知名專家，於 1972 年首先與 S. Jayaraman 以高強度的雙光子吸收法觀察到微微秒 (picosecond) 級的光導效應而開啟超快光學與微波及毫米波技術結合的發展。李教授最近之研究領域，如超快近場非線性光學及光激發 THz 輻射均為光電領域前端之研究課題，對國內研究單位可提供交流協助。

四、學門國際合作研究活動

本年度國際光計算研討會議(Optics in Computing OC 2002)在 OSA 及 SPIE 台灣分會的爭取下來台灣舉辦，主辦單位為國立中正大學，負責承辦會議為郭鐘榮教授。

會議內容包含 Optical Information Technologies、Optoelectronics、Quantum Electronics、Opto-electrical Materials and Devices、Data Storage and Application 等主題，共發表論文 134 篇，國外 51 篇、國內 83 篇，參與人數共 176 人，國外人士分別來自美國、德國、加拿大、希臘、韓國、瑞士、法國、英國、日本等。

五、學門業務數據化之說明

91 年度光電學門專題計畫申請及核定資料如下：91 年度計畫核定件數為 130 件，計畫通過率為 59.91%，如表一所示。91 年度預核 92 年度之計畫有 23 件，預核經費為 35,384 仟元，預核 93 年度之計畫有 13 件，預核經費為 21,879 仟元。

表一 91 年度工程處光電學門專題計畫核定一覽表

單位：仟元

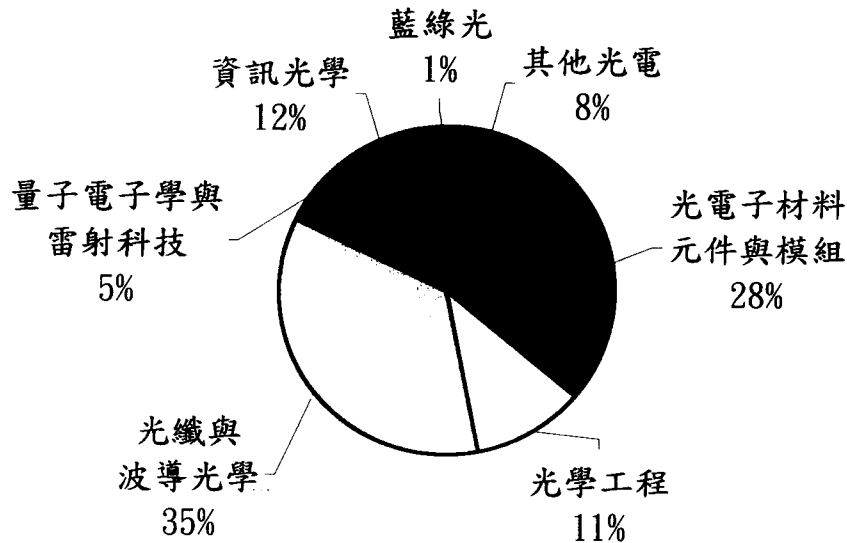
說明 計畫別	91 年度 申請	91 年度 核定	計畫 通過率	經費申請	經費核定	經費 通過率	平均 每案經費
整合型	9 群	5 群	55.56%	90,835	44,693	49.20%	1,655
	49 件	27 件	55.10%				
個別型	168 件	103 件	61.31%	205,697	97,582	47.44%	947
合計	217 件	130 件	59.91%	296,532	142,275	47.98%	1,094

註：上表統計資料包括預核案件(89-2 期、90 年度)

表二為 91 年度專題計畫隸屬各類別中各校統計表，根據此表計算出各類別之百分比，圖一即為 91 年度專題計畫隸屬各類別的百分比圖。學門中規模較大的為光纖與波導光學約佔 35%，次之為光電子材料元件與模組佔 28%。光電子材料元件與模組及光纖與波導光學較去年約減少 4-6% 左右，其他都在 11% 以下，顯示今年申請計畫時，較有明確的研究項目，歸為「其他光電」的計畫較少，其餘的百分比與去年相比大致相同。

表二 91 年度專題計畫隸屬各類別中各校統計表

光纖與波導光學	光電子材料 元件與模組	量子電子學與 雷射科技	資訊光學	光學工程	光電	藍綠光			
台灣大學	6	台灣大學	1	清華大學	2	台灣大學	1	中央大學	1
清華大學	3	清華大學	2	交通大學	2	交通大學	2	清華大學	1
交通大學	11	交通大學	4	台北科技大學	1	中央大學	2	中央大學	2
中央大學	3	中央大學	8	中華大學	1	成功大學	1	台北科技大學	2
中山大學	11	中山大學	2	中央研究院	2	台北科技大學	1	台灣科技大學	1
台北科技大學	1	成功大學	5	大同大學	1	陽明大學	1	逢甲大學	1
台灣科技大學	1	台北科技大學	1	元智大學	1	聯合技術學院	1	明新技術學院	1
中華大學	1	台灣科技大學	1	中正理工學院	2	中華大學	1	清雲技術學院	1
中華技術學院	1	中原大學	1	空軍航空技術學校	1	修平技術學院	1	中正理工學院	1
建國技術學院	1	長庚大學	1	屏東科技大學	1	高雄應用科技大學	1	高雄應用科技大學	1
高雄海洋技術學院	1	逢甲大學	1	高雄應用科技大學	1				
聯合技術學院	1	吳鳳技術學院	1						
義守大學	1	南榮技術學院	1						
龍華科技大學	1	南台科技大學	1						
清雲技術學院	1	東華大學	1						
萬龍技術學院	1								
吳鳳技術學院	1								
合計	46	合計	36	合計	7	合計	15	合計	14

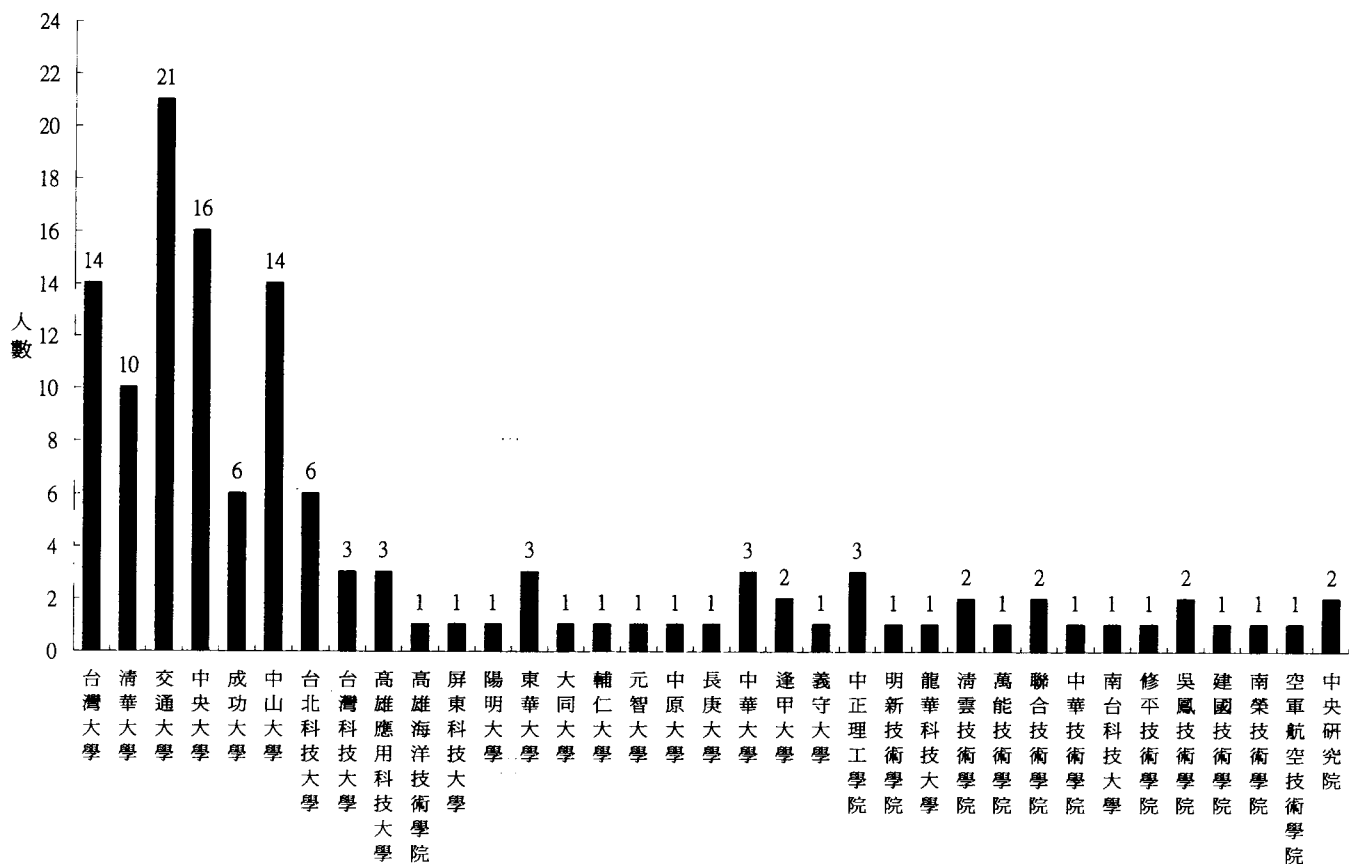


圖一 91 年度光電學門各類別計畫百分比

表三為專題計畫核定通過各校各系所統計資料，圖二為各校計畫主持人之統計資料。大體而言，這幾年來，各類別計畫主持人數及計畫個數的分布並沒有太大的變化，仍以台大、交大、中央、中山、清大及成大為主。

表三 91 年度光電學門專題計畫核定通過各校各系所統計表

學校	件數	總計	學校	件數	總計	學校	件數	總計
台灣大學電子所	2	10	中山大學光電所	11	10	長庚大學電子系	1	10
台灣大學光電所	8		中山大學電機系	3		逢甲大學材料系	2	
台灣大學化工系	1		台北科技大學光電所	1		義守大學電機系	1	
台灣大學電信所	2		台北科技大學光電系	4		中正理工學院電機工程學系	2	
台灣大學應力所	1		台北科技大學電機系	1		中正理工學院應用系	1	
清華大學電子所	3		台灣科技大學電子系	3		明新技術學院電子系	1	
清華大學電機系	4		高雄應用科技大學電子系	1		龍華科技大學電機工程系	1	
清華大學材料系	1		高雄應用科技大學模具工程系	1		清雲技術學院電子系	2	
清華大學工程與系統科學系	1		高雄應用科技大學光電與通訊研究籌備處	1		萬能技術學院電子工程學系	1	
清華大學原子科學系	1		高雄海洋技術學院電訊工程科	1		聯合技術學院光電系	2	
交通大學光電所	15		屏東科技大學機械工程技術研究所	1		中華技術學院電子系	1	
交通大學電子系	4		陽明大學放射醫學科學所	1		南台科技大學電機系	1	
交通大學電機與控制系	1		東華材料科學與工程學系暨研究所	1		修平技術學院電機系	1	
交通大學材料科學與工程學系	1		東華大學電機系	2		吳鳳技術學院電子系	2	
中央大學光電所	9		大同大學光電所	1		建國技術學院電子系	1	
中央大學光電科學研究中心	5		輔仁大學物理系	1		南榮技術學院電子系	1	
中央大學機械系	2		元智大學電機系	1		空軍航空技術學校總教官室	1	
成功大學電機系	1		中原大學電子系	1		中央研究院應用科學及工程研究所籌備處	1	
成功大學微電子所	3		中華大學電機所	1		中央研究院原子與分子科學研究所	1	
成功大學材料科學及工程學系	1		中華大學機械與航太工程所	1				
成功航空太空工程學系	1		中華大學機械系	1				



圖二 91 年度光電學門各校計畫主持人統計資料

早期國內在光電領域沒有定期的大型學術研討會，這對碩博士班學生的訓練是一項缺失，因為他們幾乎沒有機會在學術會議上發表論文。光電學門自 86 年度起，利用每年舉辦學門研究成果發表會的機會，協助國內的相關學會（光學工程學會，IEEE/LEOS，OSA，及 SPIE 台北分會）共同主辦全國性的大型光電科技研討會（Optics and Photonics/Taiwan），例如 85、86、88 均曾舉辦過。今年(91)的光電科技研討會則在十二月十二、十三日舉行。在此基礎上，為促進國際學術交流，並於 1998 年底在台大舉辦國內第一次的國際光電研討會（International Photonics Conference 1998，簡稱 IPC'98），前年 12 月 15 日在交大舉辦第二次國際性的研討會（2nd International Photonics Conference 2000，簡稱 IPC2000），目前的規劃是隔年舉辦一次國際性的研討會，另外我們已爭取到 92 年舉辦 CLEO/PR2003，由國際性學會輪流主辦之大型國際會議，由於 IPC2002 和 CLEO/PR2003 兩項國際研討會舉辦的時間過於接近，效果將相互影響，所以經學門協調今年改由台灣科技大學主辦 OPT2002 國內研討會，而停辦 IPC2002。學門歷年參加人數及發表論文篇數也逐年增加中(如表四所示)。

表四 歷年光電研討會參加人數及發表論文數

年度 \ 項目	參加人數	發表論文數
96 光電科技研討會	337 人	170 篇
97 光電科技研討會	471 人	206 篇
IPC'98	524 人	260 篇
OPT'99	749 人	328 篇
IPC2000	673 人	276 篇
OPT2001	660 人	352 篇
OPT2002	906 人	465 篇

由各項指標來看，我國光電學術研究在這五年來都維持穩定的成長，光電學門計畫主持人發表於 SCI 期刊之論文也在增加中，91 年 SCI 論文篇數到 10 月 30 日為止也有 249 篇(表五)，另外可參考的指標如期刊論文被引用次數（SCI Citations）也頗可觀，87 年 SCI 被引用次數已累積有 868 次，顯示計畫主持人的研究成果已漸獲國際學術界的肯定與注意（表五）。

表五 光電學門計畫主持人發表於 SCI 期刊統計資料

年 度	SCI 篇數	SCI 被引用次數
1998	256	868
1999	306	695
2000	322	533
2001	298	245
2002	249	N.A.

註：統計資料截至 91/10/30 為止

另外我國與亞太地區主要國家比較，我國在光電類主要學術期刊（由美國光學學會及 IEEE 出版者）如 Optics Letters, IEEE J. Quantum Electron., J. Opt. Soc. Am. -A and B, IEEE Photon. Technol. Lett., J. Lightwave Technol., Optics Comm., Appl. Opt.及 IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.期刊，2002 年 1 月至 10 月中台灣發表論文數共 71 篇，比去年少 28 篇，另外今年也遠超過香港(48)、新加坡(26)與紐西蘭(21)，但低於為南韓(111)、澳洲(83)、大陸(237)、日本(335)(請參考表六)。除論文數量持續成長外，論文的品質大致隨總量的增加而比例提高。學門績優計畫主持人積極參加國際學術活動，獲得榮譽及認知 (recognition)，大幅提升了我國在國際光電學術界的能見度。

表六 我國與亞太地區主要國家光電研究論文出版統計資料

Journal	Area	台灣			日本			紐西蘭		
		89	90	91	89	90	91	89	90	91
OPTICS LETTERS (3.195)		13	16	10	87	89	58	2	1	2
IEEE J. OF QUANTUM ELECTRON. (2.086)		6	9	3	17	25	17	0	0	0
JOSA (B)(2.044)		7	9	6	24	23	17	1	0	2
J. OF LIGHTWAVE TECHNOL. (2.014)		8	19	6	28	48	38	0	0	0
IEEE PHOTONICS TECHNOL. LETT. (2.004)		23	15	13	70	78	58	0	0	1
IEEE J. SEL. TOP. QUANTUM ELECTRON. (1.989)		3	1	4	26	29	25	0	0	0
JOSA (A)(1.521)		3	3	1	9	25	18	2	2	5
APPLIED OPTICS (1.459)		11	18	15	77	82	79	9	4	6
OPTICS COMMUN. (1.354)		44	21	13	56	56	55	9	6	5
TOTAL		88	111	71	384	422	355	23	13	21

*The number in () is the SCI impact factor (2001)

七、其它

1.主、協辦會議

(1)會議時間表

時 間	地 點	主 講 人	內 容	主/協辦單位
8/22 下午 2 時	台灣大學電機系 114 會議室	光電學門召集人王維新教授	光電學門研究發展規劃會議	主辦單位：光電學門
12/12、13 兩日	台灣科技大學	光電學門各教師及學生	台灣光電科技研討會 (OPT2001) 暨光電學門成果發表會	主辦單位：台灣科技大學 協辦單位：光電學門
12/12 晚上 7 時 30 分	台灣科技大學國際會議廳	光電學門召集人王維新教授	光電學門計畫主持人座談會	主辦單位：光電學門

(2)會議紀錄 (如附件一)

2.更新中文網頁

隨時更新光電學門中文網頁(<http://140.112.19.89>)，詳如附件二。

3.轉發公告

本年度學門共轉發三十五次與學門相關的公告給學門各計畫主持人，詳如附件三。

4.製作人才資料庫

「光電工程學門人才資料庫」已更新，並已寄發各計畫主持人，說明如附件四。

5.製作簡報

光電學門座談會簡報資料如附件五所示。

6.學門研究規劃報告

詳如附件六。

7.英文簡介

詳如附件七。

光電學門研究發展規劃會議會議紀錄

- 一、時間：91年8月22日（星期四）下午2時
- 二、地點：台大電機二館114會議室
- 三、主持人：王召集人維新
- 四、出席者：吳孟奇教授、李三良教授、李清庭教授、林世聰教授、林浩雄教授、許渭州教授、郭鐘榮教授(請假)、陳永光教授(請假)、潘犀靈教授、鄭木海教授、鄭益祥教授、謝文峰教授、蘇炎坤教授（以姓名筆劃順序排列）
- 五、列席者：國科會學門承辦人黃鎮台先生
- 六、會議內容：
 - (一)討論學門專長分類項目
 - 1.將第五項光學工程內的全像術移至第四項資訊光學項下。
 - 2.將第七項其他-色彩學及其應用移至第五項光學工程項下。
 - (二)分配工作
 - 1.光纖與波導光學—李清庭教授
 - 2.光電子材料元件與模組—吳孟奇教授、吳忠熾教授
許渭州教授、鄭木海教授
 - 3.量子電子學與雷射科技—潘犀靈教授
 - 4.資訊光學—鄭益祥教授
 - 5.光學工程—李世光教授、林世聰教授
 - 6.生醫光電—蘇炎坤教授

每項由負責的教授再商請其他教授撰稿，總彙整由王維新教授負責。
 - (三)每項大綱
 - 1.前言
 - 2.重點研究
 - 3.前瞻研究
 - 4.一般研究
 - 5.產業技術概況研究
 - 6.參考文獻
 - (四)截稿日期：9月30日
 - (五)稿費：每千字約800元

光電學門計畫主持人座談會會議紀錄

- 一、會議時間：91年12月12日晚上7時30分
- 二、會議地點：台灣科技大學國際會議廳
- 三、主持人：學門召集人 王維新教授
- 四、出席者：光電學門各計畫主持人
- 五、列席者：國科會學門承辦人黃鎮台 先生
- 六、會議紀錄：

(一)學門召集人報告

- 1.介紹下屆學門召集人李清庭教授。
- 2.簡報光電學門近況
投影片資料如附件五，詳見學門網頁(<http://140.112.19.89>)
- 3.如果大家有事情需通知學門全部教授，可經由學門助理代為轉發。各位教授之 e-mail 若有錯誤或變更，請儘快洽學門助理更正，以方便聯繫。
- 4.通訊錄已於日前寄發，各位教授應該已經收到，如果個人資料有誤，請與我們連絡，我們會定期寄發通訊錄勘誤表給各位教授。由於通訊錄資料不便對外公開，所以如果還有需要者，也請與我們聯繫，我們將再個別寄發。
- 5.計畫之申請
 - 千里馬專案，今年度學門申請的人很少，希望明年度大家多申請。
 - 白光 LED(由光電小組主導)，十二月三十一日前要將構想書寄莊慶安先生或黃鎮台先生。
 - 九十二年度專題計畫已開始接受申請，截止收件日為九十二年一月三十日。

(二)討論：

- 1.東華大學電機系邱爾德教授詢問提整合型計畫前是否應先提構想書？
工程處普遍都沒有先提構想書，另外提整合型計畫時如果有一子計畫沒有過，即會被拆散。
- 2.義守大學電機系孫迺翔教授詢問三年期計畫，只核一年，是否要重新審查？
如果第一年做的不錯，第二年會通過的可能性就很大。

3. 中山大學光電所鄭木海教授詢問出國費用是否要包含在計畫內？或者是單獨？

出國費用上次已經向國科會反映，儘量包含在計畫裡，但不是絕對的，不過包含在一起可以減低業務量。

優點：出國費用包含在計畫內，可以做多次使用，也可以給學生來使用，不論是 Poster 或 Oral 均出國，但單獨申請的只能是 Oral。

缺點：出國費包含在計畫內，可能會減少其他計畫經費的使用。

4. 元智大學電機系陳祖龍教授詢問個別型計畫是否有限制提一年或多年期？

國科會鼓勵提多年期計畫，時間長短應以計畫內容需執行幾年而定。

5. 東華電機系邱爾德教授報告 IEEE、SBIE、OSA 及中華民國光學工程學會之間合作的可能性。

光電工程學門 - Microsoft Internet Explorer

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H) 連線(C) Welcome to IEL Online 2) Hotmail 的免費電子郵件 3) Windows 4) 自行連結

地址(A) http://140.112.19.89/

光電工程學門
Optics and Photonics Programs Engineering Division, NSC, Taiwan, R.O.C.

News

國科會工程處最新消息

- 九十二年度國科會補助學術研究優良期刊申請期間延至三月(91/1/225)
- 九十一年度碩士論文評選委員名單已核定(91/1/223)
- 本會補助九十二年度專題研究計畫，自即日起接受申請，截止收件日期延至九十二年二月十四日。
(91/1/220)
- 本會(92年度)補助博士後研究人員赴國外或大陸地區研究自即日起開始申請(91/1/218)
- 半導體照明科技整合型計畫-公開徵求計畫(91/1/203)
- 修正本會補助「提升產業技術及人才培育研究計畫」(91年第二期)之「先期技術轉移授權約書」部分條文(91/1/21)
- 本會補助九十二年度專題研究計畫，自即日起接受申請。(91/1/20)
- 九十一年度傑出研究獎獲獎人名冊(91/1/06)

學門公告

- 2002台灣光電科技研討會(OPT2002)暨光電學門成果發表會(91/1)

[學門座談會照片\(91/1/227\)](#)

研討會網址

首頁

國科會 內文 Microsoft Word 附件二網頁 Microsoft 光電工程學門 Microsoft AM 09:33

光電工程學門 - Microsoft Internet Explorer

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H) 連線(C) Welcome to IEL Online 2) Hotmail 的免費電子郵件 3) Windows 4) 自行連結

地址(A) http://140.112.19.89/

光電工程學門
Optics and Photonics Programs Engineering Division, NSC, Taiwan, R.O.C.

News

國科會工程處最新消息

- 九十二年度國科會補助學術研究優良期刊申請期間延至三月(91/1/225)
- 九十一年度碩士論文評選委員名單已核定(91/1/223)
- 本會補助九十二年度專題研究計畫，自即日起接受申請，截止收件日期延至九十二年二月十四日。
(91/1/220)
- 本會(92年度)補助博士後研究人員赴國外或大陸地區研究自即日起開始申請(91/1/218)
- 半導體照明科技整合型計畫-公開徵求計畫(91/1/203)
- 修正本會補助「提升產業技術及人才培育研究計畫」(91年第二期)之「先期技術轉移授權約書」部分條文(91/1/21)
- 本會補助九十二年度專題研究計畫，自即日起接受申請。(91/1/20)
- 九十一年度傑出研究獎獲獎人名冊(91/1/06)

學門公告

- 2002台灣光電科技研討會(OPT2002)暨光電學門成果發表會(91/1)

[學門座談會照片\(91/1/227\)](#)

研討會網址

國科會工程處人才資料庫(91/7/31)
處長函
最近「國科會工程科技推廣中心」奉工程處處長之指示及18個學門召集人之協助，建立「國科會工程處人才資料庫」的網站，因以後國科會的各種作業將以資料庫內的個人最新資料做為參考。

九十一年度學門召集人：王維新教授
任何問題請洽
:(02)23635251-423或 : ws.wang@cc.ee.ntu.edu.tw

最佳解析度 800*600
本網頁改版日期2001/2/2，最後更新日期2002/1/27
網頁維護者王英珠

國科會 內文 Microsoft Word 附件二網頁 Microsoft 光電工程學門 Microsoft AM 09:34

光電工程學門 - Microsoft Internet Explorer

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H) 地址: Welcome to IEL Online | Hotmail 的免費電子郵件 | Windows | 自訂選單

地址: http://140.112.19.89/

光電工程學門91年各項統計資料

- ▶ [光電學門九十一年度專題計畫一覽表\(91/8/6\)](#)
- ▶ [光電學門九十一年度各校計畫主持人統計圖\(91/8/6\)](#)
- ▶ [光電學門九十一年度各組計畫百分比圖\(91/8/6\)](#)
- ▶ [光電學門九十一年度專題計畫隸屬各組中各校統計表\(91/8/6\)](#)
- ▶ [光電學門九十一年度核定通過專題計畫各校各系所統計表\(91/8/6\)](#)
- ▶ [光電學門計畫主持人發表於SCI期刊統計資料\(91/10/31\)](#)
- ▶ [歷年光電研討會參加人數及發表論文篇數\(91/12/18\)](#)
- ▶ [我國與亞太區主要國家光電研究論文出版統計及比較\(91/10/31\)](#)
- ▶ [提昇產業技術及人才培育計畫\(光電領域\)\(91/8/6\)](#)
- ▶ [學門座談會照片\(91/12/27\)](#)

OPT2002

首頁


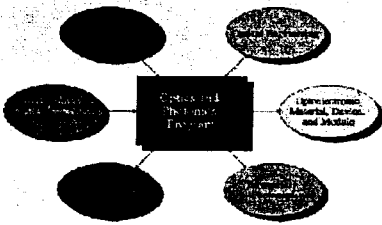
光電工程學門 - Microsoft Internet Explorer

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H) 地址: Welcome to IEL Online | Hotmail 的免費電子郵件 | Windows | 自訂選單

地址: http://140.112.19.89/

Optics and Photonics Program

Engineering and Applied Science Division

Optics and Photonics Program
Engineering and Applied Science Division
National Science Council (NSC)
Republic of China
106, Section 2, Ho-Pin East Road,
Taipei, Taiwan 106, Republic of China
Tel: +886-2-2737-7776
Fax: +886-2-2737-7673
http://www.nsc.gov.tw/eng/

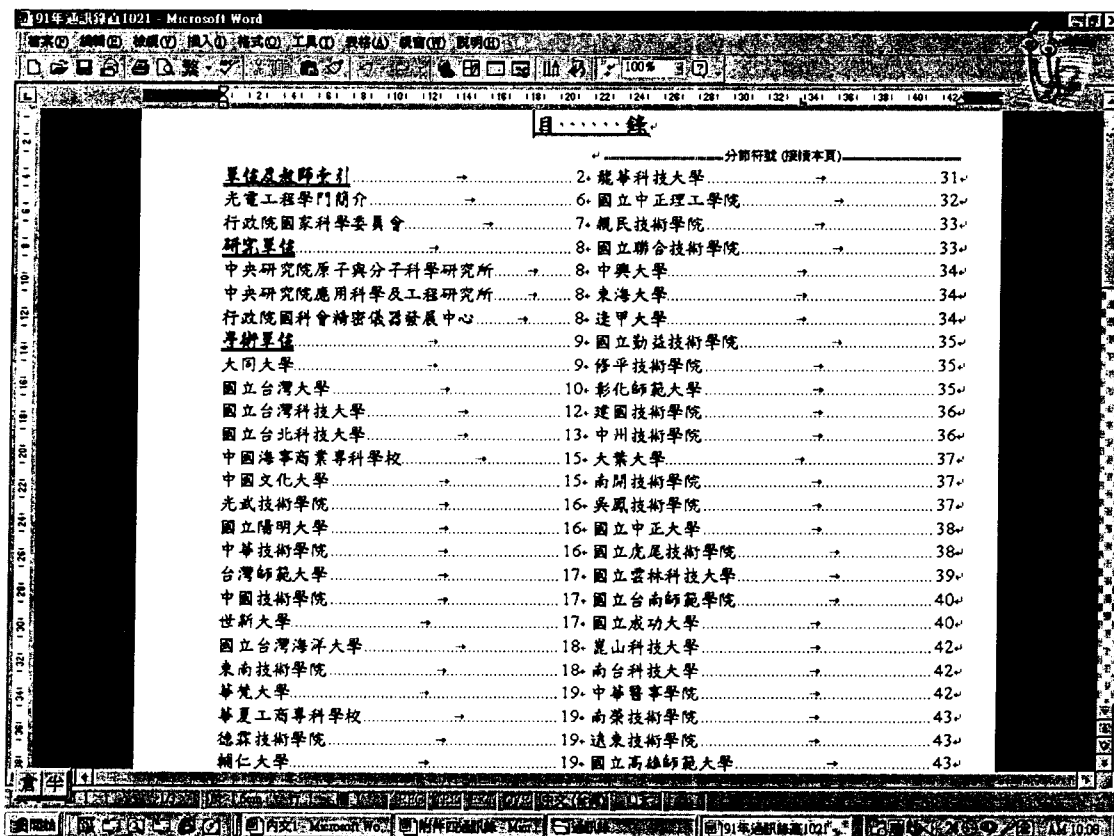
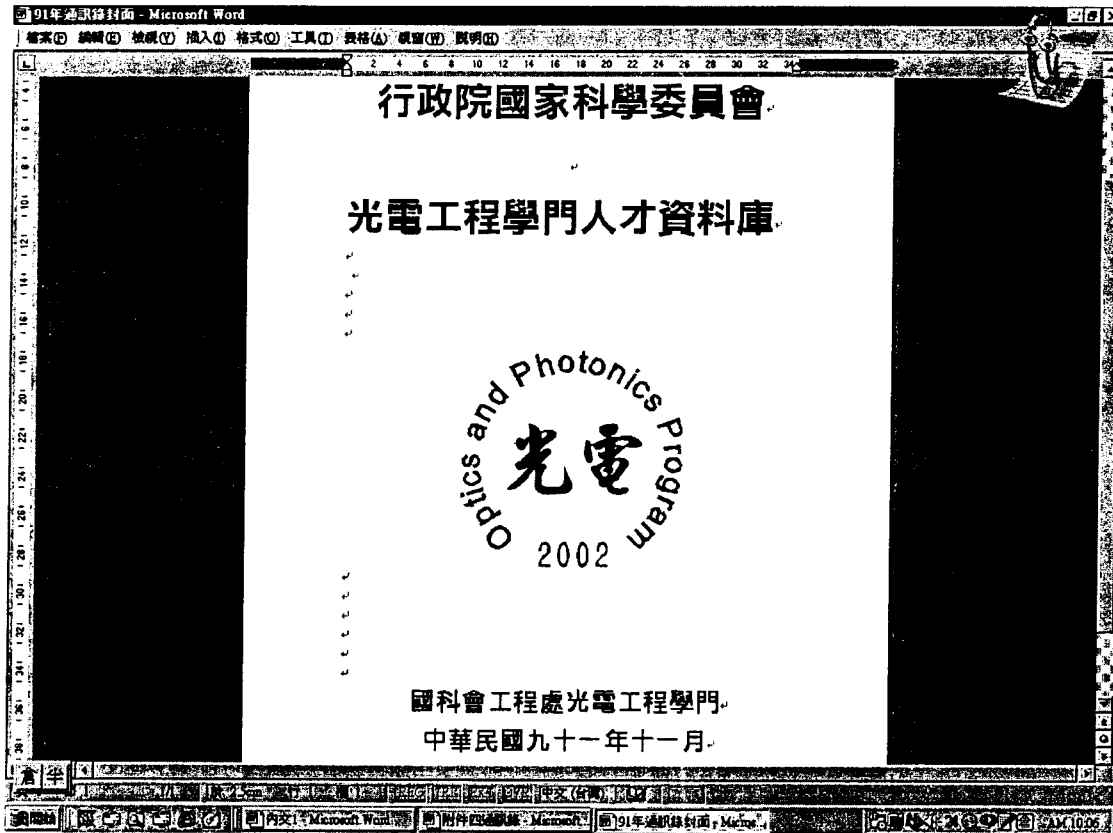
National Science Council
Republic of China

95%

光電學門代發公告

	公告者	公告時間	公告內容
1	高雄第一科技大學機械系與自動化工程系秘書江鳳琳小姐	91.1.7	甄聘教師
2	台灣科技大學電子系廖顯奎教授	91.1.22	再次敬邀投稿 OECC2002
3	中正大學通訊工程所熊美芝小姐	91.2.25	ISCAS2002 研討會
4	交通大學光電所崔小姐	91.3.1	交大研討會相關資料(3/8)
5	交通大學光電所潘犀靈教授	91.3.11	Topical Meeting on Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications
6	東華大學電機所邱爾德教授	91.3.11	Notes on possible OSA-SPIE
7	中央大學光電所孫慶成教授	91.3.11	支持邱爾德院長競選 SPIE 秘書
8	東華大學電機所邱爾德教授	91.4.8	BOPM2002
9	中山大學物理系高甫仁教授	91.4.12	PhD scholarship
10	台灣大學電機系李嗣涇教授	91.5.2	2002 IEDMS call for papers
11	虎尾技術學院光電系陳金嘉教授	91.5.28	新增光電與材料所擬聘所長及相關教師
12	台北科技大學光電系呂海涵教授	91.6.10	台北科技大學主辦寬頻光通訊高密度分波多工系統研討會
13	清華大學工科系張廖貴術教授	91.6.28	Optoelectronics 2003 Abstract Due Date
14	工研院光電所陳素卿小姐	91.7.9	國際前瞻光儲存技術研討會(7/15)
15	工研院光電所陳素卿小姐	91.7.18	前瞻磁性技術研習會(7/23)
16	台灣大學電機系林浩雄教授	91.7.23	2002 IEDMS Final Call for papers
17	國科會光電小組莊慶安先生	91.8.1	半導體照明與發展策略研討會
18	台灣科技大學電子系李三良教授	91.8.28	2002 年光電科技研討會徵稿啟示
19	醫工學門召集人鄭誠功教授	91.9.26	世界華人生物醫學工程研討會
20	工研院電通所謝錦華先生	91.9.27	工研院電通所暨系統晶片技術中心 92 年度科技專案分包學界研究計畫公告

	公告者	公告時間	公告內容
21	國科會工程處潘敏治先生	91.9.30	92 年度晶片系統國家型科技計畫公開徵求學術研究計畫
22	虎尾技術學院光電系(所)莊賦祥、陳金嘉教授	91.10.18	人事室徵聘教師
23	光電工業教學資源中心 歐芳序小姐	91.10.22	微/奈米粒徑量測與製作技術研討會
24	交通大學光電所王興宗教授	91.10.29	Distribution of Seminar announcement
25	台灣大學電機系劉致為教授	91.11.18	2002 台灣第一屆矽鍺技術研討會
26	台灣科技大學電子系李三良教授	91.11.29	OPT2002 最新訊息
27	成功大學電機系許佳瑜小姐	91.12.2	91 年成功大學國防役博覽會
28	台灣科技大學電子系李三良教授	91.12.3	補寄 OPT2002 Advance Program 檔案
29	中山大學物理系高甫仁教授	91.12.3	中山大學籌備成立材料與光電系--聘任教師
30	國科會光電小組莊慶安先生	91.12.4	半導體照明科技整合型計畫
31	台灣科技大學電子系廖顯奎教授	91.12.8	Paper submission deadline of OECCA1AF2003 is Feb. 15, 2003.
32	台灣大學光電所楊志忠教授	91.12.10	CLEO/PR 2003 開始接受投稿
33	台灣大學陳永裕先生	91.12.12	台俄科技合作展望與成果發表研討會
34	中山大學物理系高甫仁教授	91.12.18	中山大學材料科學與光電工程系求才廣告
35	東華大學電機系邱爾德教授	91.12.31	Winter 2002 Focal Point
36			
37			
38			
39			
40			



單位及教師索引

(分前行號 (張數本頁))

單位及教師索引 2	王維新..... 10	徐開鴻..... 13
光電工程學門簡介 6	李嗣淳..... 10	余合興..... 13
行政院國家科學委員會 7	唐國楨..... 10	林世聰..... 14
研究單位 8	張宏鈞..... 10	陳堯輝..... 14
中央研究院原子與分子科學研究所 8	曹恆偉..... 10	吳俊傑..... 14
孔慶昌..... 8	江衍信..... 10	林世穆..... 14
張大判..... 8	林海維..... 10	呂海涵..... 14
汪治平..... 8	楊英杰..... 10	任貽均..... 14
王玉麟..... 8	管傑維..... 10	郭超仁..... 14
中央研究院應用科學及工程研究所 8	吳志機..... 10	王子建..... 14
魏培坤..... 8	毛明華..... 10	徐崑峰..... 14
李超煌..... 8	楊志忠..... 11	賴柏洲..... 14
行政院國科會精密儀器發展中心 8	林清富..... 11	蔡定江..... 15
江政忠..... 8	王·倫..... 11	中國海事商業專科學校..... 15
	孫啟光..... 11	林坤成..... 15
	彭隆瀚..... 11	中國文化大學..... 15
	高威炎..... 11	郭文貴..... 15
	李世光..... 11	徐明景..... 15
	黃榮山..... 11	林嘉隆..... 15
	藍崇文..... 11	光武技術學院..... 16
	王俊凱..... 12	
	國立台灣科技大學..... 12	

光電工程學門簡介

職稱/姓名	地址/電話/傳真/E-mail
學門召集人 王維新 教授	地址:106 台北市羅斯福路四段一號 國立台灣大學電機工程學系 電話: (02)2363-5251 轉 423 傳真: (02)2362-1950 e-mail: wswang@cc.ee.ntu.edu.tw
學門承辦人 黃鎮台 先生	地址:106 台北市和平東路二段 106 號 20 樓 行政院國科會工程處 電話: (02)2737-7983 傳真: (02)2737-7673 e-mail: jthuang@nsc.gov.tw
學門助理 王英珠 小姐	地址:106 台北市羅斯福路四段一號 國立台灣大學電機工程學系 433 室 電話: (02)2363-5251 轉 456 傳真: (02)2362-1950 e-mail: ejwang@cc.ee.ntu.edu.tw

91年通訊錄1021 - Microsoft Word

行政院國家科學委員會
 地址: 106 台北市和平東路二段 106 號
 電話: (02)2737-7992 → 傳真: (02)2737-7566 → <http://www.nsc.gov.tw/>

處室別	電 話	E-mail
自然科學發展處	(02)2737-7985	natsci@nsc.gov.tw
工程技術發展處	(02)2737-7525	engsci@nsc.gov.tw
生物科學發展處	(02)2737-7542	lifesci@nsc.gov.tw
人文及社會科學發展處	(02)2737-7551	humsci@nsc.gov.tw
科學教育發展處	(02)2737-7554	edusci@nsc.gov.tw
國際合作處	(02)2737-7563	intlprog@nsc.gov.tw
企劃考核處	(02)2737-7800	plan@nsc.gov.tw
綜合業務處	(02)2737-7567	general@nsc.gov.tw

91年通訊錄1021 - Microsoft Word

研究單位

中央研究院原子與分子科學研究所
 地址: 106 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號(台北郵政 23-166 號信箱)
 電話: 02-23620212 → 傳真: 02-23620200 → <http://www.iam.s.sinica.edu.tw/>

姓 名	職 稱	電 話(公)、E-mail	研究專長
孔慶昌 Anderw H. Kung	研究員	02-23668229 akung@po.iam.s.sinica.edu.tw	雷射物理 非線性光學 非線性光譜
張大剴 Ta-Chau Chang	研究員	02-23668231 tcchang@po.iam.s.sinica.edu.tw	雷射光譜 凝態動力學
汪治平 Jyhpyng Wang	研究員	02-23668263 jwang@po.iam.s.sinica.edu.tw	強光物理 共焦顯微術 超快雷射技術
王玉麟 Yuh-Lin Wang	研究員	02-23668233 ylwang@po.iam.s.sinica.edu.tw	表面科學 透視光學 帶電粒子光學

中央研究院應用科學及工程研究所
 地址: 115 台北市南港區研究院路 2 段 128 號
 電話: 02-27898000 → 傳真: 02-27826680 → <http://www.sinica.edu.tw/~caser/>

姓 名	職 稱	電 話(公)、E-mail	研究專長
魏培坤 Pei-Kuen Wei	助 研 研 究 員	02-27898000-17 pkwei@gate.sinica.edu.tw	精體光學 近場光學 奈米光電子學

91年通訊錄1021 - Microsoft Word

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 插入(I) 格式(O) 工具(T) 表格(M) 視窗(W) 說明(H)

2 1 141 16 18 110 121 144 161 181 201 221 241 261 281 301 321 341 361 381 401 421

學術單位

大同大學
 地址：104 台北市中山區中山北路3段40號
 系列：化學工程系 →
 電話：02-25925252-2561 → 傳真：02-25941371 → <http://www.che.ttu.edu.tw>

姓·名	職·稱	電·話(公)、E-mail	研究專長
吳勳隆 Shune-Long Wu	教·授	02-5925252-3427 slwu@ttu.edu.tw	液晶材料 有機合成 化學反應機構

系列：光電工程研究所 →
 電話：02-25925252-2970 → 傳真：02-25861939 → <http://www.oet.ttu.edu.tw>

姓·名	職·稱	電·話(公)、E-mail	研究專長
吳慕鄉 Mu-Shiang Wu	教·授	02-25925252-2970-14 mswu@ttu.edu.tw	光電薄膜 光波導元件 表面聲波元件
羅吉宗 Jyi-Tsong Lo	教·授	02-25925252-2970-15 jtlo@ttu.edu.tw	薄膜物理 固態物理 場發射顯示器
蔡五湖 Woo-Hu Tsai	副教授	02-25925252-2970-16 whtsai@ttu.edu.tw	雷射理論 波導理論 積體光學元件
賴富德 Fu-Der Lai	副教授	02-25925252-3411-320 fdlai@ttu.edu.tw	光學薄膜製作 光電檢測技術 奈米技術、光學微影技術
蔣守鈺	助·理	02-25925252-2970-24	表面聲波元件

91年通訊錄1021

91年通訊錄1021 - Microsoft Word

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 插入(I) 格式(O) 工具(T) 表格(M) 視窗(W) 說明(H)

2 1 141 16 18 110 121 144 161 181 201 221 241 261 281 301 321 341 361 381 401 421

附·錄

本「人才資料庫」資料內容，如有錯誤或不完整之處，敬請各界不吝賜教。如您的資料不正確或有遺漏之處；或您有適當人才可推薦者，敬請詳細填寫下列表格，傳真回覆或電話告知，以利更新資料再版，謝謝！

學校：_____
 地址：_____
 系列：_____
 電話：_____
 傳真：_____
<http://.....>

姓·名	職·稱	電·話(公)、E-mail	研究專長

聯絡地址：106 台北市羅斯福路四段一號 國立台灣大學電機工程學系
 聯絡電話：王維新 教授 電話(02)2363-5251 轉 423 →
 e-mail: wswang@cc.ee.ntu.edu.tw
 王英珠 小姐 電話(02)2363-5251 轉 456 →
 e-mail: eiwang@cc.ee.ntu.edu.tw

91年通訊錄1021

91年地籍科1021 Microsoft Word

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 工具(T) 表格(M) 視窗(W) 說明(H)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

教師姓名

..... 分類行號 (按積本頁)

丁勝懋.....41	吳靜雄.....10	林春勝.....46	翁鳳德.....23
于殷生.....19	吳謙讓.....39	林春榮.....43	馬廣仁.....32
孔慶昌.....8	吳曜東.....45	林恭如.....22	高成炎.....11
方美坤.....41	吳耀純.....22	林海雄.....10	高甫仁.....43
毛明華.....10	呂明峰.....27	林煥輝.....24	高瑞煌.....22
王 倫.....11	呂海涵.....14	林得裕.....35	尉應時.....22
王子建.....14	宋智鴻.....16	林清富.....11	康智傑.....42
王水遠.....41	李三良.....12	林瑞明.....31	張 翼.....22
王永和.....41	李世光.....11	林群博.....37	張大鈞.....8
王玉麟.....8	李丕耀.....18	林嘉達.....15	張文清.....20
王立康.....25	李正中.....28	林漢賓.....32	張弘文.....44
王明程.....31	李正民.....30	林鶴南.....25	張正陽.....28
王俊凱.....12	李孝貽.....26	武東星.....34	張玉山.....27
王迺慈.....28	李孟思.....43	祁 勉.....21	張宇能.....31
王淑霞.....21	李昆益.....20	邱俊誠.....23	張守達.....41
王智昱.....47	李明達.....44	邱爾德.....49	張宏鈞.....10
王欽茂.....38	李俊奇.....16	邱紹宏.....39	張忠誠.....18
王維新.....10	李威儀.....24	邱寬斌.....29	張明文.....30
王興宗.....22	李建平.....23	施文欽.....9	張復彥.....23
任貽均.....14	李清庭.....28	施錫富.....30	張春田.....39
朱安國.....44	李攝漢.....20	洪志旺.....27	張振雄.....21
江政忠.....8	李超煌.....8	洪茂峰.....41	張盛富.....38
江衍偉.....10	李雅明.....25	洪勝富.....25	張連璧.....32
何清華.....49	李剛洋.....10	洪境祥.....33	張克盛.....33
余合興.....13	李賢哲.....48	洪榮木.....30	張瑞聰.....31

91年地籍科1021

光電學門近況簡介



學門召集人：王維新
台大電機系

內 容

- 目前產業概況
- 主要研究領域
- 統計資料
- 工作記要

園區產業營業額 (91年 8 月)

產業分類	入區家數	就業人數	本月小計	本年累計	去年同期累計	同期成長率
積體電路	133	60,315	\$39,020,754	\$295,259,684	\$261,972,475	12.70
電腦及週邊	51	12,849	\$9,143,354	\$80,839,300	\$114,490,394	29.39
通訊	60	6,848	\$4,510,369	\$34,972,336	\$36,780,636	4.91
光電	57	16,458	\$5,076,769	\$37,474,773	\$45,254,644	17.19
精密機械	13	880	\$431,678	\$3,559,090	\$3,224,185	10.38
生物技術	18	682	\$123,689	\$952,865	\$846,084	12.62
合計	332	98,032	\$58,306,614	\$453,058,051	\$462,568,420	2.05

單位：千元

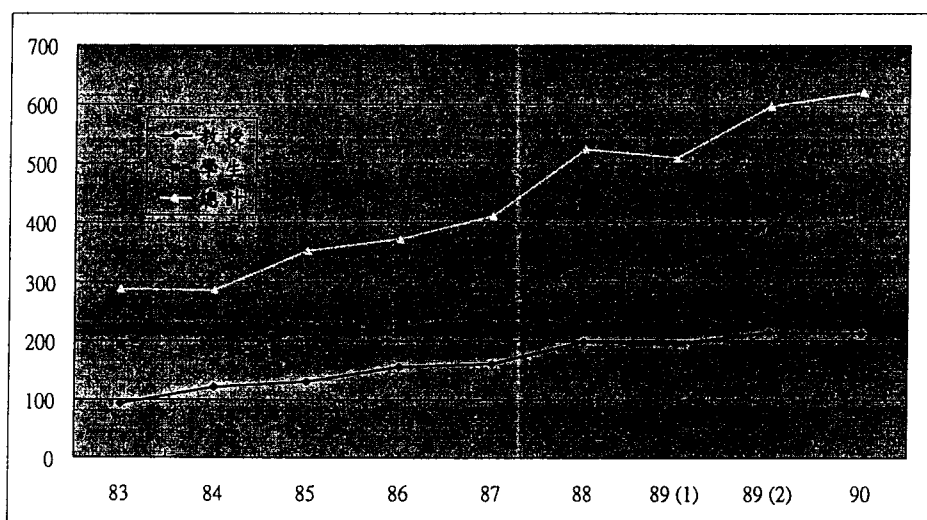
主要研究領域類別

1. 光纖與波導光學—主動與被動光纖元件、平面波導元件、光纖通訊系統
2. 光電子材料元件與模組—遙測用之半導體雷射、光感測器與偵測器、光電子積體電路、寬能隙半導體材料及元件、光電子封裝技術、微光機電、有機發光材料與元件、記錄元件、太陽電池、奈米光電
3. 量子電子學與雷射科技—先進固態雷射、超快光學、光電子學、量子光學、非線性光學材料及元件、雷射精微材料處理
4. 資訊光學—先進顯示及光儲存科技、平面顯示器、光訊處理、光計算、光連結、全像術
5. 光學工程—光電系統設計、光學元件製作、光學鍍膜、光學量測、微光學元件設計、顯微術、紅外線工程、色彩學及其應用
6. 生醫光電—生物工程與應用、醫學工程與應用

光電學門歷年計畫和人力統計

年度	件數	經費 (萬元)	每案平 均經費 (萬元)	研究人力					
				教授級	副教 授級	助教 級	博士生	碩士生	總人力
85	93	5,438	58.5	66	64		77	145	352
86	101	6,391	63.3	70	85		79	139	373
87	132	10,422	79.0	84	81	3	95	173	436
88	136	13,526	99.5	112	75	10	119	207	523
89 第一期	125	13,079	104.6	105	68	21	109	207	510
89 第二期	136	13,296	97.8	122	73	18	134	249	596
90	139	14,058	101.1	111	65	36	141	267	620

光電學門投入人力



91年度工程處光電學門 專題計畫核定一覽表

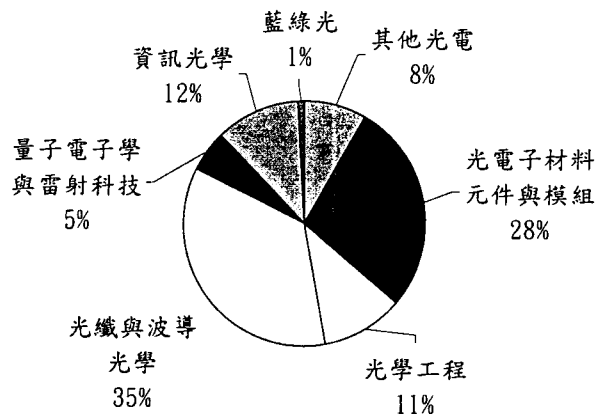
說明 計畫別	91年度 申請	91年度 核定	計畫 通過率	經費申請	經費核定	經費 通過率	平均 每案經費
整合型	9群	5群	55.56%	90,835	44,693	49.20%	1,655
	49件	27件	55.10%				
個別型	168件	103件	61.31%	205,697	97,582	47.44%	947
合計	217件	130件	59.91%	296,532	142,275	47.98%	1,094

註：上表統計資料皆包括預核案件(89-2期、90年度)

91年度專題計畫隸屬各類別中各校統計表

光纖與波導光學	光電子材料 元件與模組	量子電子學與 雷射科技	雷射光學	光學工程	光電	藍綠光
台灣大學	6 台灣大學	6 台灣大學	1 清華大學	2 清華大學	2 台灣大學	1 中央大學
清華大學	3 清華大學	2 交通大學	2 交通大學	2 交通大學	2 清華大學	1
交通大學	11 交通大學	4 台北科技大學	1 中央大學	2 中央大學	2 中山大學	1
中央大學	3 中央大學	8 中華大學	1 成功大學	1 台北科技大學	2 東華大學	2
中山大學	11 中山大學	2 中央研究院	2 台北科技大學	1 台灣科技大學	1 輔仁大學	1
台北科技大學	1 成功大學	5	大同大學	1 陽明大學	1 逢甲大學	1
台灣科技大學	1 台北科技大學	1	元智大學	1 聯合技術學院	1 明新技術學院	1
中華大學	1 台灣科技大學	1	中研理工學院	2 中華大學	1 清雲技術學院	1
中華技術學院	1 中原大學	1	空軍航空技術學校	1 修平技術學院	1 中研理工學院	1
建國技術學院	1 長庚大學	1	屏東科技大學	1 高雄應用科技大學	1 高雄應用科技大學	1
高雄海洋技術學院	1 逢甲大學	1	高雄應用科技大學	1		
聯合技術學院	1 吳鳳技術學院	1				
義守大學	1 南榮技術學院	1				
龍華科技大學	1 南台科技大學	1				
清雲技術學院	1 東華大學	1				
萬能技術學院	1					
吳鳳技術學院	1					
合計	46 合計	36 合計	7 合計	15 合計	14 合計	11 合計

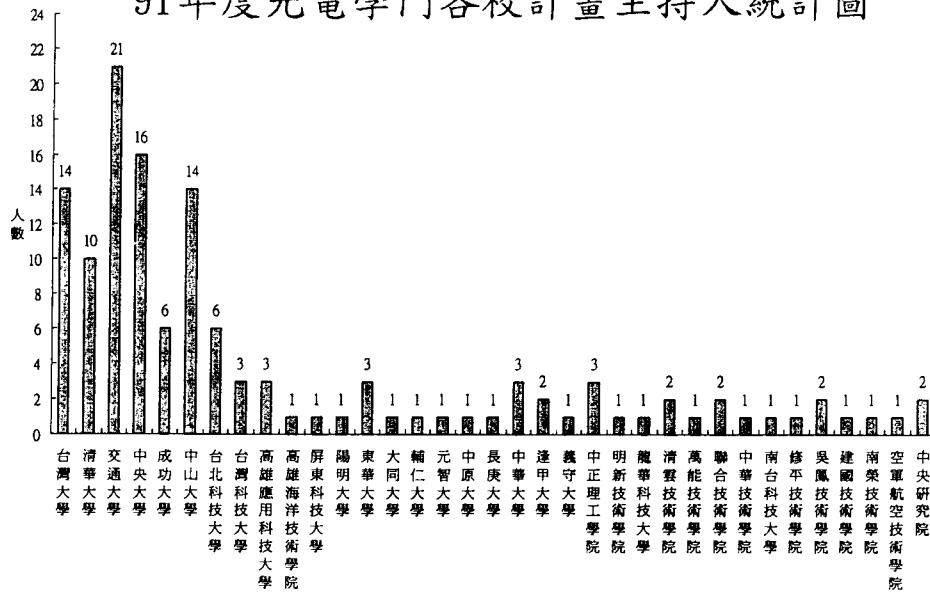
91年度光電學門各組計畫百分比



91年度光電學門專題計畫 核定通過各校各系所統計表

學校	件數	總計	學校	件數	總計	學校	件數	總計
台灣大學電子所	2	14	中山大學光電所	11	14	長庚大學電子系	1	1
台灣大學光電所	8		中山大學電機系	3		逢甲大學材料系	2	2
台灣大學化工系	1	14	台北科技大學光電所	1	6	義守大學電機系	1	1
台灣大學電音所	2		台北科技大學光電系	4		中正理工學院電機工程學系	2	3
台灣大學應力所	1	10	台北科技大學電機系	1	3	中正理工學院應用系	1	1
清華大學電子所	3		台灣科技大學電子系	3		明新技術學院電子系	1	1
清華大學電機系	4	10	高雄應用科技大學電子系	1	3	龍華科技大學電機工程系	1	1
清華大學材料系	1		高雄應用科技大學模具工程系	1		清雲技術學院電子系	2	2
清華大學工程與系統科學系	1	10	高雄應用科技大學光電與電訊研究所	1	1	南台技術學院電子工程學系	1	1
清華大學原子科學系	1		高雄海洋科技學院電訊工程科	1		聯合技術學院光電系	2	2
交通大學光電所	15	21	屏東科技大學機械工程技術研究所	1	1	中華技術學院電子系	1	1
交通大學電子系	4		陽明大學生命醫學科學所	1		南台科技大學電機系	1	1
交通大學機械與控制系	1	13	東華林森科學與工程學系暨研究所	1	3	修仁技術學院電機系	1	1
交通大學材料科學與工程學系	1		東華大學電機系	2		吳興技術學院電子系	2	2
中央大學光電所	9	16	大同大學光電所	1	1	建國技術學院電子系	1	1
中央大學電機學研究中心	5		輔仁大學物理系	1		南英技術學院電子系	1	1
中央大學機電系	2	6	元智大學電機系	1	1	空軍航空技術學院總教官室	1	1
成功大學電機系	1		中原大學電子系	1		中央研究院應用科學及工程研究所	1	2
成功大學微電子所	3	6	中華大學電機所	1	3	中央研究院原子與分子科學研究所	1	1
成功大學材料科學及工程學系	1		中華大學機械與航太工程所	1				
成功航空太空工程學系	1		中華大學機電系	1				

91年度光電學門各校計畫主持人統計圖



歷年光電研討會參加人數及發表論文數

年度 \ 項目	參加人數	發表論文數
96 光電科技研討會	337 人	170 篇
97 光電科技研討會	471 人	206 篇
IPC'98	524 人	260 篇
OPT'99	749 人	328 篇
IPC2000	673 人	276 篇
OPT2001	660 人	352 篇
OPT2002	906 人	465 篇

光電學門計畫主持人 發表於SCI期刊統計資料

年 度	SCI 篇數	SCI 被引用次數
1998	256	868
1999	306	695
2000	322	533
2001	298	245
2002	249	N.A.

我國與亞太地區主要國家光電研究論文出版統計數

Journal	Area			Asia												Japan			Australia			New Zealand		
	Yr.	89	90	91	89	90	91	89	90	91	89	90	91	89	90	91	89	90	91					
OPTICS LETTERS (3.195)	13	16	10	29	25	19	21	20	12	10	10	10	67	59	55	21	17	9	2	1	2			
IEEE J. OF QUANTUM ELECTRON.(2.086)	6	9	3										17	25	31				0	0	0			
JOSA (B)(2.044)	7	9	6										24	23	17	10	13		1	0	2			
J. OF LIGHTWAVE TECHNOL. (2.014)	8	19	6	10	10								38	48	28				0	0	0			
IEEE PHOTONICS TECHNOL. LETT. (2.004)	23	15	13	23	23	30	15	16	11	21	32	29	70	78	56				0	0	1			
IEEE J. SEL. TOP. QUANTUM ELECTRON.(1.989)	3	1	4										26	26	22				0	0	0			
JOSA (A)(1.521)	3	3	1										9	25	16	10	12		2	2	5			
APPLIED OPTICS (1.459)	11	18	15										77	82	75				9	4	6			
OPTICS COMMUN. (1.354)	44	21	13	30	25	15	27	21	16	21	18	10	56	56	35	10	10	12	9	6	5			
TOTAL	88	111	71	221	270	237	252	22	28	105	100	111	384	422	335	104	121	33	23	13	21			

*The number in () is the SCI impact factor (2001)

我國與亞太地區主要國家
光電研究論文出版成長率比較
(民國89~90) 2000~2001

台灣		中國					香港		南韓		新加坡		日本		澳洲		紐西蘭	
88	111	241	270	52	52	100	100	34	41	384	422	110	105	23	13			
26%		2%					0%		0%		20%		10%		-45%		-43%	

學門代發公告(1/4)

	公告者	公告時間	公告內容
1	高雄第一科技大學機械系與自動化工程系秘書江鳳琳小姐	91.1.7	甄聘教師
2	台灣科技大學電子系廖顯奎教授	91.1.22	再次敬邀投稿 OECC2002
3	中正大學通訊工程所熊美芝小姐	91.2.25	ISCAS2002 研討會
4	交通大學光電所崔小姐	91.3.1	交大研討會相關資料(3/8)
5	交通大學光電所潘屏靈教授	91.3.11	Topical Meeting on Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications
6	東華大學電機所邱爾德教授	91.3.11	Notes on possible OSA-SPIE
7	中央大學光電所孫慶成教授	91.3.11	支持邱爾德院長競選 SPIE 秘書
8	東華大學電機所邱爾德教授	91.4.8	BOPM2002
9	中山大學物理系高甫仁教授	91.4.12	PhD scholarship
10	台灣大學電機系李嗣濤教授	91.5.2	2002 IEDMS call for papers
11	虎尾技術學院光電系陳金嘉教授	91.5.28	新增光電與材料所擬聘所長及相關教師

學門代發公告(2/4)

	公告者	公告時間	公告內容
12	台北科技大學光電系呂海涵教授	91.6.10	台北科技大學主辦寬頻光通訊高密度分波多工系統研討會
13	清華大學工科系張學貴術教授	91.6.28	Optoelectronics 2003 Abstract Due Date
14	工研院光電所陳素卿小姐	91.7.9	國際前瞻光儲存技術研討會(7/15)
15	工研院光電所陳素卿小姐	91.7.18	前瞻磁性技術研習會(7/23)
16	台灣大學電機系林浩雄教授	91.7.23	2002 IEDMS Final Call for papers
17	國科會光電小組莊慶安先生	91.8.1	半導體照明與發展策略研討會
18	台灣科技大學電子系李三良教授	91.8.28	2002 年光電科技研討會徵稿啟示
19	醫工學門召集人鄭誠功教授	91.9.26	世界華人生物醫學工程研討會
20	工研院電通所謝錦華先生	91.9.27	工研院電通所暨系統晶片技術中心 92 年度科技專案分包學界研究計畫公告
21	國科會工程處潘敏治先生	91.9.30	92 年度晶片系統國家型科技計畫公開徵求學術研究計畫
22	虎尾技術學院光電系(所)莊賦祥、陳金嘉教授	91.10.18	人事室徵聘教師

學門代發公告(3/4)

	公告者	公告時間	公告內容
23	光電工業教學資源中心歐芳序小姐	91.10.22	微/奈米粒徑量測與製作技術研討會
24	交通大學光電所王興宗教授	91.10.29	Distribution of Seminar announcement
25	台灣大學電機系劉致為教授	91.11.18	2002 台灣第一屆矽鍍技術研討會
26	台灣科技大學電子系李三良教授	91.11.29	OPT2002 最新訊息
27	成功大學電機系許佳瑜小姐	91.12.2	91 年成功大學國防博覽會
28	台灣科技大學電子系李三良教授	91.12.3	補寄 OPT2002 Advance Program 檔案
29	中山大學物理系高甫仁教授	91.12.3	中山大學籌備成立材料與光電系--聘任教師
30	國科會光電小組莊慶安先生	91.12.4	半導體照明科技整合型計畫
31	台灣科技大學電子系廖顯奎教授	91.12.8	Paper submission deadline of OECCA1AF2003 is Feb. 15, 2003.
32	台灣大學光電所楊志忠教授	91.12.10	CLEO/PR 2003 開始接受投稿

學門代發公告 (4/4)

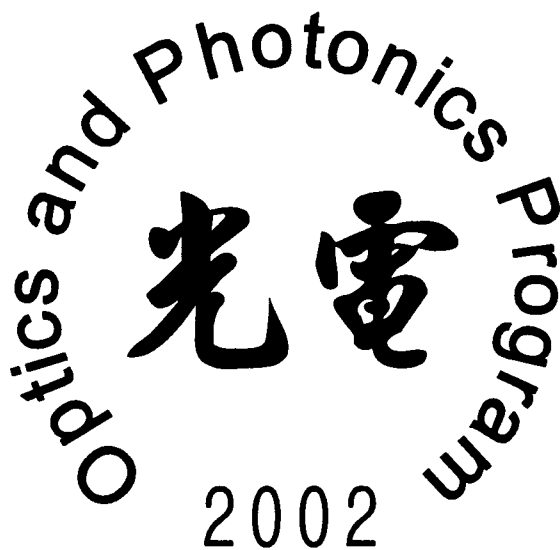
	公告者	公告時間	公告內容
33	台灣大學陳永裕先生	91.12.12	台俄科技合作展望與成果發表研討會
34	中山大學物理系高甫仁教授	91.12.18	中山大學材料科學與光電工程系求才廣告
35	東華大學電機系邱爾德教授	91.12.31	Winter 2002 Focal Point

其他工作

- 隨時更新光電學門中文網頁
(<http://140.112.19.89>)
- 英文簡介及網頁
- 學門規劃書
- 製作『光電工程學門人才資料庫』
已於日前寄發給各計畫主持人

九十一年度

光電學門研究發展規劃報告



國科會工程處

中華民國九十一年十二月

九十一年度光電學門研究發展規劃報告

規 劃 委 員

學門召集人：王維新教授

■光纖與波導光學

中央大學光電所

李清庭教授

■光電子材料元件與模組

中山大學光電所

鄭木海教授

成功大學電機系

許渭州教授

台灣大學電機系

林浩雄教授

清華大學電機系

吳孟奇教授

台灣科技大學電子系

李三良教授

■量子電子學與雷射科技

交通大學光電所

潘犀靈教授

交通大學光電所

謝文峰教授

■資訊光學

中央大學光電所

鄭益祥教授

■光學工程

台灣大學應力所

李世光教授

臺北科技大學光電所

林世聰教授

■生醫光電

成功大學電機系

蘇炎坤教授

九十一年度光電學門研究發展規劃報告

各 領 域 作 者

學門召集人：王維新教授

■光纖與波導光學

李清庭教授

■光電子材料元件與模組

鄭木海教授、吳孟奇教授、吳忠幟教授、蔡宗祐教授、羅裕龍教授、
葉文昌教授

■量子電子學與雷射科技

賴暎杰教授、孫啟光教授、黃衍介教授、黃升龍教授

■資訊光學

鄭益祥教授

■光學工程

林世聰教授、呂學士教授、管傑雄教授、范光照教授、高甫仁教授、
任貽均教授、徐巍峰教授、蔡朝旭博士、吳文中先生

■生醫光電

蘇炎坤教授、鄭國順教授

國科會工程處九十一年十二月

九十一年度光電學門研究發展規劃報告

目 錄

壹、前言.....	1
貳、光纖與波導光學.....	2
參、光電子材料元件與模組.....	8
肆、量子電子學與雷射科技.....	71
伍、資訊光學.....	93
陸、光學工程.....	104
柒、生醫光電.....	149
捌、研究計畫之申請、審查、執行與評估.....	155
玖、結語.....	156

壹、前言

光是人類相當古老的自然資源，但它的相關科技與應用卻成為近年來國內外發展的重點，雖然目前全球經濟普遍不景氣，但光電科技卻不斷地發展，進步迅速，使得光電科技成為眾所期盼的「明日之星」。國科會工程處有鑑於此，乃指示光電工程學門重新撰寫學門規劃報告，以便瞭解光電學門各領域之發展概況、研究重點、前瞻性研究方向等。從所蒐集的資料顯示：上一次學門規劃是在民國八十一年十一月完成，距今甚久，不能完全符合現況所需，因此有必要重新再做一次大幅修訂，以供本學門成員或政府有關部門參考。

目前光電工程學門之研究分為光纖與波導光學、光電子材料元件與模組、量子電子學與雷射科技、資訊光學、光學工程、生醫光電等六大領域。由於涵蓋範圍甚廣，規劃之初，即邀請各領域之資深教授座談，討論學門規劃內容。最後之決定是原則上每個領域均應包括前言、重點研究、前瞻研究、一般研究、產業技術研究概況、參考文獻等六個分項，但為考慮各領域之實際狀況不同，因此亦需請各負責人酌予增減或合併某些分項。由於工作量甚大，因此每一領域推薦一位教授負責主筆，再由各主筆邀請各校相關教授協助撰寫，最後由學門工作人員彙整及校對，並重新編排成統一格式，總共費時約三個多月，終告完成，實令人欣慰。

由於資料繁瑣，編輯疏漏之處，懇請見諒，並祈惠予不吝指正，以期更臻完整。本規劃報告能順利完成在此謹感謝各位學者專家協助提供資料和撰稿，尤其是規劃委員及相關作者最為辛苦，在此特別感謝他們的鼎力協助。學門承辦人黃鎮台先生之熱心提供國科會最新資料，學門助理王英珠小姐之細心訂正與編排，學生丁天倫的蒐集資料和校對稿件對本規劃報告更是不可或缺，在此也要感謝他們所默默付出的辛勞。編撰本規劃報告之時，規劃委員曾參考二〇〇〇年光電科技與產業競爭力分析計畫報告、工程處電信學門研究發展規劃報告及機械固力學門研究發展規劃報告、經濟部產業技術發展策略規劃報告、21世紀科技趨勢報告等出版品，受益匪淺，謹此誌謝。將來本規劃報告若需更新或增減資料，歡迎隨時來函賜知。最後謹祝福大家身體健康，事事順利。

光電學門召集人 王維新 謹識

九十一年十二月六日

貳、光纖與波導光學

李清庭教授

一、前言

在早期人們以使用窄頻的銅絞線與微波來傳送資訊為主，但在 1970 年代低傳輸損耗的光纖問市後，光纖通訊的技術與應用便蓬勃發展起來，而這些技術由原先的軍事用途漸漸地普及於日常生活之中。由於光纖具有高頻寬、低損耗、保密性、壽命長及不受電磁干擾等種種優點，隨著通信技術的日益成熟，把聲音、資料及影像的整合性服務已成為一種趨勢，因此光纖相關技術的應用已蔚為光纖通信網路、資料傳輸、有線電視等不可或缺的重要指標，光纖通訊未來市場潛力無可限量，早已成為世界各先進國家競相爭食之大餅。尤其自美國柯林頓政府有感於光纖傳輸有助於國家現代化及提昇經濟競爭實力，率先倡導資訊高速公路(Information Superhighway) 的建設，隨後陸續得到西歐及日本等各先進國家紛起效尤，競相投入光纖通信網路的基礎建設及光纖感測等應用領域，我國也無法自外於世界潮流中，因而亦著手進行此等研究論題。

在光纖的應用領域中，必須涉及對光信號的處理及光信號的波導光學，發展將諸如光波導，光學元件及光調制器等製作在同一晶片上的積體波導光學系統。

二、重點研究

(一) 光纖光學

1. 主動光纖元件及模組

- (1) 新型晶體光纖(波長轉換或光放大作用)
- (2) 新型增益放大光纖(S 波段，C+L 波段)
- (3) 拉曼(Raman)光纖放大器
- (4) 光纖主動收發模組

2. 被動光纖元件及模組

- (1) 塑膠光纖及光纜
- (2) 色散補償光纖及光纜

NLO2002 Technical Digest, FC4-1, Maui, Hawaii, July 29- Aug. 2, 2002.

- [44] H.J. Kimble, “Cavity QED with Strong Coupling – Toward the Deterministic Control of Quantum Dynamics”, a tutorial talk at Conference of Quantum Optics 2001. The PDF file can be obtained at <http://www.its.caltech.edu/~qoptics>.
- [45] J.E. Sharping, M. Fiorentino, and P. Kumar, “observation of twin-beam type quantum correlation in Optical fiber”, *Optics Letter* 26, pp. 367-369, 2001.
- [46] C. Santori, M. Pelton, G. Solomon, Y. Dale, and Y. Yamamoto, “Triggered Single Photons from a Quantum Dot,” *Phys. Rev. Lett.* **86**, pp.1502-1505, 2001.
- [47] G. S. Solomon, M. Pelton, and Y. Yamamoto, “Single-mode Spontaneous Emission from a Single Quantum Dot in a Three-Dimensional Microcavity,” *Phys. Rev. Lett.* **86**, pp.3903-3906, 2001.
- [48] C. H. Bennett and P. W. Shor, “Quantum information theory”, *IEEE Trans. Inf. Theory* 44, pp. 2724-2742, 1998.

伍、資訊光學

鄭益祥教授

一、前言

資訊光學包含了從資訊產生之後的編碼、傳遞、運算，再解編碼、顯示或儲存。它包含了輸入、輸出、光學訊號處理、光學計算、光儲存與光連結，隨著各項科技的進步——尤其是光纖通訊與網路科技，現已走入所謂的 Tera 紀元，資訊流通量又多又快，各種媒體的型式又千變萬化。以下我們就資訊光學的各個領域做些介紹，並且提出一些研究方向，當然，由於各個領域都非常廣泛，以一己之力在短短的期間內撰出本文，很可能掛一漏萬，尚請見諒。

二、一般研究與重點研究

(一) 平面顯示器與先進顯示器:

最通常也是大家最熟悉的平面顯示器就是所謂的陰極射線管 (CRT)，大多數的家庭所使用的的電視就是這種顯示器。隨著科技的發展，尤其是高等材料、微電子製造與封裝技術、玻璃科技、驅動電路的進展，最近這十年來，又出現了許多種類的平面顯示器。液晶顯示器 (LCD) 在多年前首先出現在口袋型計算機與電子錶上，隨著個人電腦的推出，以及其後可攜帶式的筆記型電腦的大力發展，LCD 漸漸變成一個極大的產業。最初的 LCD 的可視角度、亮度表現比起 CRT 並不好，近年來的持續改良，已使得 LCD (譬如 AMLCD) 能比美 CRT。低溫多矽晶 AMLCD 由於有更高的載體移動性，使它在展示即時影像方面，比 TFTLCD 更勝一籌。另一方面，由於持續改良與價格降低，亮度高、可視角度大的壁掛式大型電漿顯示器 (PDP) 也越來越多了。在微展示 (microdisplay) 方面，它是以數位微面鏡裝置 (DMD) 或液晶於半導體機板上之裝置 (LCoS) 所構成的顯示裝置，結合了成像與投影能力於一個小 package 中，可以應用到數位相機上，也可以應用到頭盔式裝置當中。除了筆記型電腦之外，手提式消費者電子產品，例如：個人數位助理 (PDA)、手機等，也需要更高品質的顯示裝置。隨著高速無線網路的發展，手提式無線裝置變成多媒體的終端機，而其上之彩色高解析顯示器則扮演使用者與多媒體界面的角色。

重點研究:

1. OLED^[1]:使用有機分子---有機小分子或聚合物---材料來製作顯示器變得可能。到了2001年,有機「電發光」(electroluminescent)材料的發光範圍,已涵蓋了所有可見光的頻譜。它相較於液晶顯示裝置,觀測的角度範圍與對比度相當的優越,反應也比較快。由於製作時,所需的層數較少,且存在噴墨印製或印刷的可能,製造成本可以降低。在提倡『輕薄』---例如:e-book, e-paper---的時代,這種可以製作在薄塑膠上的顯示器,很明顯地具有其重要性。持續的研究包含了材料在高溫的穩定度、生命期、發光效率,全彩顯示以及如何將電流式的驅動裝置統合等。
2. Microdisplay:可以是以一個靠近眼睛的放大鏡光學系統來觀看一個很小(約一吋)但像素很多的顯示器,如:LCoS、多晶矽 LCD、或 OLEDoS,或者乾脆將影像掃描到網膜上,利用光的可逆性,就可以看到類似大螢幕的影像。這種系統就變成可戴式的展示裝置,若讓雙眼看到視角有些差別的兩個影像,即可讓觀察者看到立體影像。這種系統是相當複雜的,研究除了顯示器所需的研究外,亦包含了精密的光學系統設計。
3. 全像放映機(holovideo)與體積型 3D 展示器:放映機裝置,從早期的錄影帶到現在的數位式 DVD,在畫質上變得較為清晰。而電視螢幕除了尺寸不斷加大、畫素不斷增多之外,也朝著能夠同時提供兩組具有適當視差的影像給觀察者發展。如此一來,觀察者就可以看到 3D 立體影像,這在影音電話將有其實用性。由於人們對影像品質不斷的要求,多年前,一種可以展示全像影像(不需任何輔助觀察裝置即可看到具有多視角的立體全彩影像)的原型機^[2]被發展出來。它是基於成像面全像術原理,利用超級電腦計算,並以聲光調制器來掃描資料來達成的。隨著電腦功能的持續加強,未來的電腦計算能力將會遠大於現在的電腦,屆時,此類放映裝置將變為可能並普及。現階段可繼續研究不同的原理、演算法則等,以及如何能讓可視角度變大,影像更加逼真等。

另有一種將二維(平面)發光平板豎立起來,讓它在原地旋轉的展示裝置^[3]。當顯示器轉至某一角度時,其上就顯示該角度的資料,隨

著顯示平板的旋轉，就能把資料將空間填滿，利用視覺暫留的效應，就可讓觀察者看到整個區域的 3D 影像。這種顯示器除了要具有一般二維顯示器的功能之外，在機械設計以及訊號 timing 方面亦要多做研究。

4. 奈米碳管顯示器：隨著國家將奈米科技被定為重點計畫，奈米材料諸如奈米碳管的製造與取得將變為平常。由於奈米材料有些結構的導電度類似金屬，但因其很尖，尖端放電的效應非常好，也許能發展出高解析度、低耗能、高亮度的新型顯示器。當然，這牽涉到很多材料與製程上的問題，需要投入相當多的研究。

一般研究：

對於現有或即將推出之顯示器，除了持續地改良其對比度、亮度、反應速度、解析度、色擇、缺陷之外，亦應改善其生命期、製造價格、能量消耗、溫度操作範圍、體積、重量等。

(二) 光學儲存科技：

隨著多媒體的發展，人們對資訊儲存的需求量越來越大。早期從磁帶記錄聲音、記錄影像，再發展到以磁碟機與之後的光碟機記錄資訊。磁碟機由於它所具有的優越性，在資料的存取方面一直有持續的進展。另一方面，以光學方式存取資訊的光碟機，由於儲存介質---光碟片---易於攜帶、容易保存，也成為儲存科技的重要一環^[4]。最常見的為 12 公分的 CD 音樂片、CD-ROM、CD-R，到現在流行的 DVD。另有，尺寸不太相同的 MO(以光的熱來輔助磁記錄)、CD-RW(相位改變來達成重複讀寫的目的)等。在唯讀方面，資訊以壓模方式印製到塑膠片上，或印製到玻璃片上的光聚合物，再於其上鍍上一層金屬膜來加強反射。在可寫方面，鍍在基板上的儲存層在記錄時，其性質會被修飾。一些標準的儲存層的材料如下，只可寫一次的使用摻染料的聚合物、可重複讀寫的用 GeSbTe、MO 用 TbFeCo 等。在光碟機的裝置中，雷射光源發出的光首先被透鏡準直，再被另一透鏡聚焦到碟片上。其反射光被分為幾道光，送達不同的偵測器，當作訊號偵測與軌跡追蹤用。

重點研究：

1. 多層記錄、短波長(藍光 LED)記錄與光學讀取頭:在這個資訊時代,資訊的流通量越來越大,儲存媒介的功能也必須隨之改善。短期、立即的解答在於增加記錄介質的層數,每增加一層,儲存量就增加一倍。除了在系統上必須改良之外,也必須改良訊號處理能力。除了記錄媒體的層數變化之外,亦可由縮小記錄介質上代表單一 bit 的面積 (solid immersion lens 是一種方法)著手。藍光 LED 國家型計畫還在進行當中,由於一個 bit 的面積與記錄光波長成平方反比的關係,很明顯地,發展藍光 LED 的 DVD 是一個很自然的方向。當然,對於藍光系統,各個光學元件必需重新設計。為了能更快速地讀取記錄介質上的資訊,光學讀取頭必須越輕越好(這樣一來,移動的速度才會快)。全像術由於具有對物波完全記錄的功能,是很值得被引用來設計光學讀取頭的,由薄薄的一片或幾片全像片,就可以取代大部份光學系統的功能,這樣就能達成輕、薄、短、小的目標。
2. 全像光碟 (high data rate and rapid access time)、感光高分子 (photopolymer)與 雙光子記錄:全像光碟^[5-6]由於具有在一個波長三次方的體積內記錄一個 bit 的潛力,使得一片厚度約為 1mm 的碟片能夠記錄超過 100Gb 的資訊。其記錄與讀取資訊均可以以整頁的模式進行,資料讀取可達 1Gb/s,是相當的快速的。已存在的多工記錄法有角度多工、波長多工、相位多工、位移多工等,為了防止記錄的資訊在讀取時被洗除,亦有所謂的雙光子記錄法(記錄於光折變晶體,例如鈦酸鋰)。感光高分子材料由於其透明度與感光後不必經過化學處理,也是適合作成唯讀式的全像光碟,然而其在曝光後會收縮,造成讀取時的困難,此問題有待進一步的研究。
3. 近場光學記錄:要想縮小一個 bit 的記錄點大小,亦可使用所謂的近場光學,這是一個類似原子力顯微鏡的方法。當很尖 probe^[7-8]靠近記錄面時,由於其所釋放的光尚未發散開就達到記錄面,因此記錄的點大小可以突破遠場的解析度。另一方面,亦有一種稱作近場碟片的結構,它利用照射光點對材料的分解,造成金屬小凝聚物,來增強表面電漿波的局部化^[9],於是光波就以一較小的點穿透到其下的記錄層,於是記錄出來的光點可已比實際光點小很多。這一方向的研究,不論是在材料上,或是結構上的探討都是值得投入的。

(三) 光學處理:

一般來說，光學處理的對象，要嗎就是二維的空間訊號---譬如影像，要嗎就是一維的時間訊號。光學訊號處理的範圍非常廣，非在此的小篇幅所能描述的。較有名的例子為基於空間濾波的相位對比顯微鏡與圖形識別系統，以及不論空間或時間的頻譜分析。光學系統之優越性在於它是空間不變的線性系統，因此，通訊理論可以直接引用到光學系統中。

重點研究:

1. 光學轉換^[10]:光學在實現許多不同種類的線性轉換時，是一個相當多才多藝的工具，對於大多數的光學模組，它都能執行線性時間/空間的響應。已知的有分數傅氏轉換、分數 Hilbert 轉換、分數 Hartley 轉換、子波列轉換、離散餘弦轉換等，還有其它的光學轉換有待開發。
2. 光學保密:在資訊流通快速的今日，如何能確保資訊在途中不被竊取，是一個相當重要的問題。光學亂相編碼^[11]由於是以不能預測的相位分佈來將資訊編碼，除非竊得原始的光學鑰匙---亂相分佈片，是極難將竊取的資訊解密的。找尋更有效的編碼法，包含加入不同形式的光學轉換，是值得進一步研究的方向。
3. 非破壞式的組織成像:譬如說要偵測乳癌，但不要用 X 光來取得資訊(因 X 光對人體有害)，配合超短脈衝與 time gating^[12]，已有某些研究成果出現。加上各種已知、未知的光學技巧，也許能使此種非破壞式的檢測法推上實用的階段。
4. 空間時間轉換:隨著脈衝雷射的脈衝越推越短，要對它做 shaping 是相對的更困難。將光波通過具有光柵分光的空间濾波系統，可以對時間訊號做有效的處理。新的系統設計可以達成新的濾波功能，其優點在於整個濾波是利用光速通過光學系統^[13]，非其它方式的濾波法可以匹敵的。

5. 光學圖形識別:過去利用 VanderLugt 或結合轉換相關器的即時光學圖形識別法，不論是在系統或者濾波片設計方面，都有相當程度的進展^[14]。然而，要達到一般化的實用系統，仍有相當的距離。但是，此類圖形識別法可被利用在機器人視覺、自動導航方面，是值得繼續研究下去的課題。
6. 利用電腦全像術之光學訊號處理器^[15]:光學系統亦可被設計來作為空間同調度或時間調度的處理器，如果將資訊以同調度的方式處理的話，就可完成不同形式的資訊處理。利用電腦全像術的靈活性，也可將之用來作光束之 3D shaping，以及光學的模糊邏輯控制^[9]。

(四) 光計算

日晷可能是最早的類比計算機，在近代，較有名的類比光學計算系統為在一九五幾年所發展出，能快速處理 side-looking radar 龐大資料的光學系統，以及基於四倍焦距的雙透鏡光學相關器(correlator)。由於雷射光的發明，人們更深信資訊以光速攜帶的光學計算機會是功能十分強大的。其後的數十年間，光學計算在許許多多方面都有長足的進展，包含光學邏輯閘、光學算術、矩陣與數值計算、光學細胞自動機械、光學線性與非線性神經網路等^[16]。雖然光學具有快速攜帶資訊與平行處理的能力，但是，要製造一個能與電子計算機匹敵之純光學式多功能之計算機，其實際面是相當困難的。現在的哲學又回到，要嗎就做特殊用途的光學式計算器，不然的話，邏輯運算要用電子式的，而資訊的傳輸則是用光學式的。

重點研究:

1. 二維陣列 mapping: 只有光學能做到從一個巨大陣列 map 到另一巨大陣列的平行處理^[17]，這種功能可以作為平行處理的神經網路與可程式控制的模糊邏輯陣列的基石。這種 mapping 可以是一對一，也可以是一對多的，而且是可以有權重的。運用數位技術不能做時間連續函數的連續轉換，而光學轉換本身可以是連續函數的轉換。
2. Smart pixels 和光學的 crossbar 切換器^[18]: 在一個單一的 chip 上，可以有一個陣列的 smartpixel，每一個 smart pixel 中包含一個電子處理

線路與具有光輸入與光輸出的光電子(optoelectronic)元件。它是以標準的電子學方法做訊號切換，每一 pixel 都有局部功能，包含各自的記憶，光學可以用來作 pixel 間的通訊。已有的一些方法，包含將 FET 線路邏輯和 S-SEED 坐在同一個 GaAs chip 上，或將可做光調制器的 MQW 元件和 CMOS 合併，或將 VCSEL 與 CMOS 結合。在尋求更快速與更有效率的 smart pixel 方面，是值得探討的研究方向。對於允許在一組輸入與一組輸出間做任意連結的光學 sorting 與 crossbar 切換器，Smart pixel 也可用來減少切換的時間。

3. Optical neuron^[19-20]: 神經細胞的機制是十分簡單的，它的基本模型為將輸入端的訊號加起來，經過訊號 clipping，如果訊號超過某一個 threshold，則向輸出端的每一個神經細胞輸出訊號，否則，則不對輸出端任一神經細胞輸出訊號。但是每一神經細胞和其它神經細胞的連線是非常眾多的。一個簡單的模型為每一神經細胞均與其輸入端的所有神經細胞連線，也與其輸出端的所有神經細胞連線。假定每一層有 10^6 神經細胞，那麼一層到另一層的連線就高達 10^{12} 條，這對電子學來講幾乎是個無解的問題，而對光學來講，由於其具有平行處理及光不互相干擾的特性，是很有機會達成的。已有許多方法證實光學神經網路的可行性，包含利用向量與矩陣運算、利用光學相關器、利用共振腔、量子井裝置、SEED 裝置等方法，然而，幾乎都是在證實其可行性。利用 smart pixels、微光學元件、與 DOE 等，很顯然地，有機會完成一個實用的系統。當然，其它的組合與其它的方法也可能達成目標。在這個方向，由於它完全利用到光學相對於電子學的優點，因此是一個光學計算值得研究的領域。
4. Planar optics: 將所有光學元件做在一個基板的表面上^[21]的好處是，如果在基板上做些小溝槽，那麼一塊塊基板可以利用溝槽兜起來，省卻了對準的步驟。由於透鏡光學系統有極佳的傅氏轉換、捲積與相關運算能力，如果做在同一平面上，配合積體光學，如 distributed feedback laser、波導調制器和邏輯運算等，可以達成特殊功能的 compact 光學計算系統，是值得研發的方向。

(五) 光連結:

現今，平行運算的電子計算機是存在的，在其中含有大量的運算單

元，這些單元間的電子式連結消耗掉大量的功率。如果將 VLSI 越做越小，其中所產生的電容、電感、crosstalk 問題就越來越嚴重^[22]。光學連結具有大頻帶的優點，而且基本上是低功率消耗、也有動態可變結構連結的可能，並且沒有 crosstalk 與干涉的缺點，適合被用到所謂的 hybrid computer 中。也就是非線性運算與邏輯運算是用電子式的，而大量的、平行的連結適是用光學式的。『連結』的功用，顧名思義就是用來將光源(可以是雷射二極體、發光二極體、VCSEL，或以光源照射的光波調制器等)連到接收器(可以是光偵測器、光傳導器，或 optically addressed SLM)。光連結可以倚靠光纖、波導光學，或者經由自由空間連結，可以是固定式的，也可以是動態變化式的，可以連接機器到機器、module-to-module、board-to-board 或 chip-to-chip。常見的有 crossover、perfect shuffle、hypercube、clos network、crossbar、multistage 等。

重點研究:

1. 基於體積全像與 MEMS 的動態可調式光連結:全像術由於加入了參考光，因此物光完整的資訊(振幅與相位)可以記錄下來，參考光可以是待連結的圖樣，而物光可以是欲連結的圖樣，它們之間的連線是以及高速的光速傳播。體積型全像具有強大的角度多工與波長多工的儲存能力，適合儲存巨大的連結圖案，傳統上，以聲光調制器配合它，可以達成某些快速的連結。近年，由於 MEMS(微機電系統)技術的快速進展，如果將其快速元件偏轉的能力加上體積型全像(以光折變晶體可做動態式的儲存，而以感光高分子材料則只可做靜態式的儲存)高密度儲存的功能，必可完成一些可程式控制的光通訊快速連結的元件。
2. 基板型(substrate-mode)光連結:此類型的光連結器，由於分光、導光元件都是做在基板表面，其系統穩定度高。光學元件可以是平面型或者是體積型的繞射元件，可以將不同波長的光波分開、引導並抽取出，可達成所謂的波長多工。基板亦可以一層、一層疊起來，增加分光及訊號處理的功能。
3. 積體電路技術的光連結:在 IC 面板上可以是波導式的光連結，而離開面板，則可利用光調制器、微光學元件、繞射光學元件與自由空間光

傳播^[23]來達成連結。這些連結可以是一對一、一對多，或者是多對多的。在這個 terahertz 運算頻率與特徵尺寸邁向深次微米的紀元，更高頻帶與更微小化是大家所需求的。很顯然的，對於上述的光連結，將遇到許許多多的挑戰，必須發展更新形式與更有效率的光連結，這是一個困難也值得研究的方向。

一般研究：

在適應新形勢、新系統環境下的微光學元件設計、全像光學元件設計與波導光學元件設計方面，都是適合研究的。

三、產業概況

在今年八月三十日由行政院國科會光電小組所出版的『光訊』^[24]中，描述了全球光電產業發展概況，其中指出我國光電科技的強勢領域為：1.光電元件：LED、CMOS sensor、IRDA、Lens； 2.光電顯示器：TN/STN LCD、TFT LCD、LCD Projector； 3.光輸出：掃描機、低階 DSC； 4.光儲存：碟片(CD-R, CD-RW)、碟機(CD-ROM)； 5.光纖通訊：被動元件； 6.雷射及其它：全像產品。在光電顯示器、光儲存與光輸出等資訊光學領域亦有專文報導，包含市場規模與廠商名稱、生產項目等，在此不再贅述，請直接參閱該期的文章。

四、參考文獻

- [1] D. E. Mentley, "State of flat-panel display technology and futual trends," Proc. IEEE, **90**, 453-459 (2002).
- [2] 鄭益祥, "表現交互作用的全像影像," 光訊第五十八期, 10-12 (1996); 第五十九期, 34-38 (1996).
- [3] <http://www.actuality-systems.com/>
- [4] M. Mansuripur and G. Sincerbox, "Principles and techniques of optical data storage," Proc. IEEE, **85**, 1780-1796 (1997).
- [5] D. Psaltis and E. Mok, "Holographic memories," Scientific Americans, (Nov. 1995).
- [6] D. Psaltis and G. W. Burr, "Holographic data storage," Computer, 52-60 (1998).
- [7] H. N. Lin, U. Lewlomphaisarl, S. H. Chen, L. J. Lee, and D. P. Tsai, "Controllable fabrication of bent near-field optical-fiber probes by electric-arc

- (3) 光柵光纖
- (4) 微光機電製作之微光纖元件及模組
- (5) 光纖被動收發模組

3. 光纖應用

- (1) 10Gb/s 或更高速率的光纖通信元件及模組
- (2) 光纖感測
- (3) Tb/s 光纖骨幹系統，及其傳輸、交換與放大監控

(二) 波導光學

1. 非線性光波導傳輸及模組
2. 半導體光波導傳輸及模組
3. 有機光波導傳輸及模組
4. 積體光學光波導傳輸及模組
5. 光波導調制器及極化分離器
6. 光波導波長轉換器
7. 陣列式光波導光柵 (Array Waveguide Grating, AWG) 波長分域多工器
8. 微型光波導元件
9. 光波導元件與模組組裝
10. 光子晶體波導及元件與模組

三、目前的研究現況與發展方向

在發展光電領域，其基本結構包括光纖及光波導，為提昇光電系統的功能，必須對光纖及光波導的基本特性及設計有充分的瞭解，並由此發展前瞻性由光纖與光波導所構成的光電元件及模組。在目前所發展的高速寬頻光電網路系統中，以 10Gb/s 速率的系統而言，需發展具有較寬波段的光纖放大器，因此發展具有在 C+L 波段的新型增益光纖放大器及拉曼光纖放大器，並發展具有光放大作用與作為路由 (router) 功能之波長轉換的新型晶體光纖放大器。為提昇光在光纖內的傳輸距離，由於光纖放大器在放大的波段內，其增益不均勻，因此需發展色散補償光纖以使光纖放大器的增益在放大的波段內均有均勻的增益值。在高密度波長分域多工器 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 中，需利用光柵光纖作為波長分工器，此外光柵光纖亦可發展作為光纖感測器之用，由於微機電技術的發

- heating,” *Review of Scientific Instrument*, **69**, 3843-3845 (1998).
- [8] H. N. Lin, S. H. Chen, L. J. Lee, and D. P. Tsai, “Construction of a dual-mode scanning near-field optical microscope based on a tapping mode atomic-force microscope,” *Review of Scientific Instruments*, **69**, 3840-3842 (1998).
- [9] W. C. Liu, C. Y. Wen, K. H. Chen, W. C. Lin, D. P. Tsai, “Near-field images of the super-resolution near-field structure,” *Appl. Phys. Lett.* **78**, 685-687 (2001).
- [10] D. Mendlovic and Z. Zalevsky, “Transformations in Optics: Novel Approaches, Applications and implementations,” *Proc. IPC 2000*, 184-186 (2000).
- [11] B. Javidi, L. Bernard, and N. Towghi, “Noise performance of double-phase encryption compared to XOR encryption,” *Opt. Eng.* **38**, 9-19 (1999).
- [12] E. N. Leith, etc. “Realization of time gating by use of spatial filtering,” *Appl. Opt.* **38**, 1370-1376 (1999).
- [13] P. C. Sun, K. Oba, Y. F. Mazurenko, and S. Y. Fainman, “Space-time processing with photorefractive volume holography,” *Proc. IEEE*, **87**, 2086-2097 (1999).
- [14] Y. S. Cheng, “Real-time shift-invariant optical pattern recognition,” *International Journal of High Speed Electronics and Systems*, **8**, 733-748 (1997).
- [15] H. J. Caulfield, ed. *Optical Information Processing: A Tribute to Adolf Lohmann*, SPIE Press (2002).
- [16] A. D. McAulay, *Optical Computer Architectures: The application of optical concepts to next generation computers*, John Wiley & Sons, Inc. (1991).
- [17] P. S. Guilfoyle, J. M. Hessenbruch, and R. V. Stone, “Free-space interconnects for high-performance optoelectronic switching,” *Computer*, 69-75 (Feb 1998).
- [18] J. Gourley, etc. “Development of free-space digital optics in computing,” *IEEE Computer*, 38-44 (Feb 1998).
- [19] H. H. Arsenault and Y. Sheng, *An Introduction to Optics in Computers*, SPIE Optical Engineering Press (1992).
- [20] D. Psaltis and N. H. Farhat, “Optical information processing based on associative memory model with thresholding and feedback,” *Opt. Lett.* **10**, 98-100 (1985).

- [21] J. A. Liu and R. T. Chen, "Substrate guided-wave-based optical interconnects for multiwavelength routing and distribution networks," *J. of Light Wave Technology*, **17**, 354-361 (1999).
- [22] J. E. Schutt-Aine and S. M. Kang, "Interconnections-addressing the next challenge of IC technology," *Proc. IEEE*, **89**, 423 (2001)
- [23] P. S. Guilfoyle, J. M. Hessenburch, and R. V. Stone, "Free-space interconnects for high-performance optoelectronic switching," *Computer*, 69-75 (Feb 1998).
- [24] 光訊第九十七期，行政院國科會光電小組出版，中華民國 91 年 8 月 30 日。

陸、光學工程

李世光教授、林世聰教授、呂學士教授
管傑雄教授、范光照教授、高甫仁教授
任貽均教授、徐巍峰教授、蔡朝旭博士
吳文中先生

一、前言

近年來，我國的光電產業不斷地迅速成長，即使在近兩年的不景氣中仍能維持超過二位數的成長幅度。面對未來光電產業的成長，光電產品與技術將朝向功能化與微型化發展，而光電學門光學工程領域也將因應此一趨勢，提出前瞻性的研究領域，使得我國的光電科技與產品能與國際一流國家並駕齊驅。強化光電技術與產品的功能性意味著光電元件和系統的功能與作用將更專精、明確。以波長為例，在光通訊系統中，光學元件的波長範圍將侷限在少數幾個近紅外波段上，光資訊的應用上則大部分以可見光為主，而於精密光電量測與製造技術方面則以短波長乃至紫外光為佳，光學系統的設計與光學元件的選擇必須針對不同的應用加以考量。在光學工程領域中，有關元件方面規劃有光學元件、光學鍍膜及微光學元件等研究項目以因應更新、更尖端的光電應用之需求；因應光電系統的功能化與微型化，光學工程的设计、分析與量測必將更為專精，建構不同的系統，如紅外線工程、顯微術、光儲存、及光電視訊系統等所牽涉的知識與技術也大相逕庭，因此本領域中也特別將紅外線工程及顯微術列為個別的研究項目以鼓勵相關的研究。此外，光學量測與色彩學及其應用以其專有的知識與技術也在本領域中被列為個別的研究項目。

二、光電系統設計

近年來，我國光電產業成長迅速，每年均以兩位數成長，即使在不景氣之中，仍然保有一枝獨秀的亮麗表現。近幾年，台灣光電工業逐漸重視到關鍵元件的自主發展，然而，系統設計整合仍然是台灣廠商的優勢所在，也是未來不可偏廢的部分。唯有兼顧元件與系統，才能在未來競爭激烈的產業環境中，取得成本和技術的優勢。

(一) 重點研究

光電系統泛指各種應用到光學元件、模組、次系統等，配合電子電路、單晶片，以及機械組裝、散熱結構，整合為具完整功能之裝置。台灣產業界自光學掃描器的研發中，已累積了初步的光電系統設計經驗，近幾年來，更大舉投入數位投影機、數位相機、數位攝影機等光電系統的開發，惟目前仍以低階產品為標的，高階產品主要仍掌握於美日大廠手中，主要就是因為台灣廠商仍缺乏高階光電系統設計的能力，在低階產品受大陸東南亞國家競爭日益激烈之際，培植高階產品光電設計能力已是迫在眉睫的工作。在重點研究方面，本規劃之目標在於支援產業之近中程需求，茲條列研究主題如下：

1. 數位投影機系統：

在顯示器的發展趨勢中，大型化無疑是一個重要而明確的方向，就目前各種主要的顯示技術看來，六十吋以上的大型顯示器，仍是以數位投影顯示技術為主流，未來不管在辦公室、會議場所、家庭影音、或大小型劇院，其應用領域將越來越廣，市場規模也將越來越大，對產品性能的要求也將越來越高。

數位投影機分為前投影式與背投影式，前者主要應用於辦公室及會議場所的簡報、家庭劇院、甚至取代電影院的播放機。後者主要應用於家用或公共場所展示用電視機，此外，大型電腦監視器也被視為一可能的市場方向。

數位投影機在近幾年近發展腳步神速，其發展趨勢在前投影式包括：高解析度、輕型化(小型化)、高亮度。其中，解析度目前主流為 XGA(1024×768)和 SXGA(1280×1024)，未來則將往 HDTV(1920×1080)發展，影響系統可達到之解析度的因素，主要為投影鏡頭、光機系統的設計與製作。輕型化方面，從可攜式(Portable)到超可攜式(Super Portable)，重量已達 1 公斤以下，尺寸也達到 B5 size 以下，影響系統重量與體積的因素，主要為所使用的面板、及配合的光機系統設計。高亮度方面，超可攜式產品可達數百到一千 nits，可攜式產品則已達一千 nits 以上，此外，還有強調超高亮度者則以大面積投影為目標，其應用大多為中大型劇場或電影院。影響投影亮度的因素，主要為使用的光源及光源系統的設計。

在數位投影顯示系統中，最重要的關鍵元件為其影像顯示面板，

大約佔了整個系統成本的近一半，目前數位投影顯示系統所使用的面板有三種：高溫多晶矽 TFT-LCD 面板、DLP 面板、LCoS 面板。其中，高溫多晶矽 TFT-LCD 面板掌握在日本 SONY 和 EPSON 兩家大廠手中，早期只有 SONY 限量供應，近年 EPSON 才採取較開放態度，DLP 面板則為美國德州儀器公司(Texas Instruments Inc.)的專利產品，態度更是強硬，直到近兩年因與 TFT-LCD 競爭日益激烈，加上本身產量提昇，才策略性與台灣廠商合作，然而，兩者的來源和成本都非台灣廠商所能掌控。至於 LCoS，近幾年來，台灣業界透過國際合作及研發聯盟的運作，逐漸掌握了主導權，頗有和美日鼎足而立之勢，這也是台灣產業界的機會所在，以台灣廠商豐富的生產管理經驗，在關鍵元件可自主的情況下，極有希望在未來數位投影機大舉進入家用市場時，取得成本的優勢。然而，台灣要在這一場仗獲得勝利，先決條件是必須具備紮實的光電系統設計能力，建議之研究課題如下。

- (1) 光學設計
- (2) 光機設計
- (3) 光源系統設計
- (4) 背投影影螢幕設計
- (5) 明亮環境高對比之前投螢幕設計
- (6) 熱流分析與散熱設計
- (7) 光電系統電子電路設計
- (8) 雷射投影系統設計

2. 半導體及奈米科技之製程光電系統：

台灣在半導體產業的成功，常為人所津津樂道，尤其在新製程投資規模越來越龐大的未來，台灣獨步全球的晶圓代工產業型態，更具有絕佳的優勢，甚至具備主導未來製程規格的能力。然而，到目前為止，半導體產業中，投資最為龐大的製程及檢測系統，都還是無法自製，白白將大好的商機拱手讓人，殊為可惜。

現在世界各國都將奈米科技列為重點發展項目，也期望他成為產業的明日之星，未來勢必需要各種精密的製程和檢測系統，現在投入研發，正是時機。

3. 光輸出入系統：

所謂光輸出入系統，是指電腦週邊以光學原理進行資料、影像之輸入或輸出之設備。其中，輸入包括掃描器、數位相機、數位攝影機

等，輸出則有列表機等。

近年來，數位相機在畫質及功能上進展神速，取代傳統相機的趨勢越來越明確，未來市場還有很大的發展空間。目前，這個領域也是美日公司在領導市場，台灣也有數家廠商進行生產，但大多是為美日公司代工，而且都以低階產品為主，強化此領域產品之光電系統設計技術，頗具有發展價值。

(二) 前瞻研究

光電系統設計的目的，對於既有的產品，在於突破技術限制，開發出性能更佳、使用介面更友善、成本更低、更趨近於理想的產品。對於創新的技術，則在於開疆闢土，創造出嶄新的產品。前者固然對於產業界短中期的發展有立即的助益，後者則更攸關產業長遠生存的命脈。台灣產業未來勢必要由以代工為主逐漸走向以知識、創新為主的型態，如此也才可以在一個產業初現時，獲取 Time to market 的最高利潤。因此，本規劃提出前瞻 3D 顯示系統研究，作為光電系統設計方面研究者的參考。

3D 顯示系統：

顯示器從黑白、彩色、大面積、到高畫質，無一不在追求提供使用者一個更接近自然視覺的視覺感受，在此趨勢下，不需配戴特殊眼鏡就可以觀賞逼真立體影像的裸眼式 3D 顯示系統，已被視為未來必然的方向。世界各先進國家的主要研究機構，也早已投入大量人力物力進行相關的研發，近年來的專利和論文數目都呈現指數成長趨勢。

從歷史上看，3D 顯示技術事實上已有一百多年得研究歷史，然而真正的裸眼式立體顯示系統研究則只有約十餘年的時間，經歷十年的發展，目前這個領域的技術可以說是百家爭鳴，各種先進技術，包括：全像技術、液晶科技、投影技術、時域分割技術、光纖科技、平行處理技術、人因工程技術等，都被嘗試使用在系統之中。然而，到目前為止，還沒有任何一種技術成為市場的典範，雖然近兩年產品發表者不在少數，但都只有少量樣機出售，甚至沒有一種正式上市的產品。而這也正是機會之所在。

目前世界上的 3D 顯示技術研究有三大方向：(1)空間多工技術；(2)時間多工技術；(3)追跡式，每一種都有其優缺點，空間多工技術系統穩定但解析度降低，時間多工可維持全解析度但亮度降低且系統龐大，追跡式則可維持適當解析度與亮度，但追跡穩定度尚不佳。

茲將目前世界上 3D 顯示系統之研究現況概述如下：

1. Philips 及 Stereographic 公司開發 Slanted Lenticular 系統
2. 德國 4D Vision 公司開發 50 吋 WLSFA (Wave Length Selective Filter Array) 系統
3. MIT Media Lab 開發 AOM Holography 系統
4. MIT Media Lab 開發 Blue-eye 人眼追蹤系統
5. 英國劍橋大學開發 CRT 投影時間多工系統
6. 美國 Vrex 公司開發化學製程 μ -pol 技術
7. 日本 Seaphone 公司開發 12 吋 μ -pol 追蹤式系統
8. 日本 TAO 開發 SMV、FAPO、PLMP 等系統
9. 日本 Mixed Reality 開發 Crossed Lenticular 系統
10. 日本 NHK 開發 Integral Photography 系統
11. 日本 Hitachi 開發 Retro-reflector 前投影式系統
12. 日本 NTT 開發 Luminance Modulation 多重 LCD 系統
13. 日本 NAMCO 開發掌上型 Lenticular 3D game 系統
14. 以色列 3eality 公司開發 LC Barrier 外掛式 3D Adaptor 系統
15. 墨西哥 DDD SV 開發光纖式系統
16. 德國 Dresden 開發 Moving micro-prism 系統
17. 國內工研院光電所開發雷射製程 Microretarder 技術
18. 國內工研院光電所開發追蹤式 microretarder 3D 顯示系統

建議之研究課題：

1. Volumetric 3D 顯示系統研究
2. 大面積投影式 3D 顯示系統研究
3. Hand-held 3D 顯示系統研究
4. 超多視域 3D 顯示系統研究
5. 開發新式 3D 顯示系統
6. Real-time 2D/3D conversion 研究
7. 3D image capturing and view interpolation 研究
8. Crosstalk reduction 研究
9. 3D 顯示頻寬研究
10. 全像技術與 3D 顯示技術之結合與應用
11. 3D 影像傳輸技術

(三) 一般研究

除了上述重點研究及前瞻研究的項目之外，在光電系統設計方面，還有許多值得研究的課題，在此也一並提出供國內研究者參考。

1. 背光/前光系統
2. 照明光學系統
3. 光電量測系統
4. 虛擬實境系統(Virtual Reality)
5. 混合實境系統(Augmented Reality)
6. 頭盔式顯示器(Head Mounted Display)系統
7. 汽車抬頭顯示器(Head Up Display)系統
8. 機器人視覺系統

三、微光學元件設計

隨著光電技術的進步和光機電系統的積體化、微型化，體積大、功能單純的傳統光學元件已經無法應用在許多尖端的光機電系統中，取而代之的是體積小、功能多樣化的微光學元件(micro-optical elements)，此外，半導體製程技術日新月異，眾多使用相同製造技術的微光學元件的生產成本也大為降低，元件品質穩定，更使得微光學元件在新一代的光機電系統中扮演著非常重要的角色。而因應奈米技術的發展，微光學元件也將需要大量設計、製造與應用的研究。

微光學元件可以是單一元件、以陣列方式排列、或和其他元件結合(如傳統透鏡或主動發光元件)，它的功能主要是將穿過或反射的光波的相位或振幅(主要是相位)改變，以期在元件後的面平面或繞射平面上將光波修整為預設的波形，例如偏折光線、分光、導光、波長分隔、分束、光束修整、消除像差、規則及不規則圖案之形成等。微光學元件也可以和其它微型光電主動元件或者微機電元件直接整合，組成功能更為複雜的光電積體電路(OEIC)模組和光微機電模組(OMEM)。

(一) 重點研究

1. 微光學元件之設計方法

微光學元件的設計以計算光波傳播的推衍、重建為基礎。一般的

應用可以用既定的數學公式或幾何光學公式計算元件的結構與參數；另外部分的微光學元件的設計需要光波重建的計算，其中包括純量繞射公式、求最佳解、週期量化等數學運算，目前這些設計方法可發現於知名國際期刊(如 Applied Optics, Optics Letters, Journal of Optical Society of America 等)、研討會及專書中；當元件的特徵尺寸達光波長附近時，因為必須使用運算量極大的向量繞射公式來設計與分析，目前並無適當的設計方法可用，然可能的設計方法包括使用有限元素法 (finite-element method)、有限差分法 (finite-difference method)、時域有限差分法 (finite-difference time-domain method) 及光束傳播法 (beam propagation method) 等。

2. 分析模擬方法之研究

微光學元件的模擬分析方面，除了自行撰寫的電腦程式外，有些光學軟體已加進波動光學的特性，以便於分析繞射造成的影響，如 OSLO、ZEMAX 等，但功能仍不符所需，而針對波動光學設計的軟體有 GLAD，其效果仍待驗證。目前市面上也有少數分析向量繞射的光學軟體，其效果亦迄待各方之驗證。

3. 微光學元件之製造研究

微光學元件的大小尺寸在毫米以內、乃至次微米級的光學元件，特徵尺寸從數微米至奈米左右，因此需要和傳統光學元件不同的精密製造技術。製程技術除了傳統的精密鑽石切削技術外，可用來製造微光學元件的技術還有：

- (1) 準分子雷射光刻加工
- (2) 離子耦合電漿蝕刻
- (3) 電鑄模造
- (4) 厚膜光阻多層塗佈
- (5) 電子束微影光刻系統
- (6) 各式真空蒸鍍系統
- (7) 電感式電漿深蝕刻
- (8) 化學相沉積
- (9) 電鍍鑄模
- (10) 熱壓成型等技術

除了製造的技術與設備外，我們還需要測量微光學元件的精密儀

器設備，尤其當特徵尺寸小至奈米附近時。

(二) 前瞻研究

1. 微光學與繞射光學元件之研究

當光學元件縮小至微米大小時，使用幾何光學原理來分析設計已不敷使用，因為光學繞射現象的影響主宰了元件的特性，對於微光學與繞射光學元件之研究當從波動光學理論著手，以利用光的繞射、干涉等特性來設計元件的功能、改善元件的性能，例如偏折光線、分光、導光、波長分隔、分束、光束修整、消除像差、規則及不規則圖案之形成等。

2. 微光機電整合之研究

因為微光學元件強烈的功能性，即使相似功能的元件，對於不同的應用系統往往微光學元件的設計與製造方法亦不相同，因此直接將微光學元件與微機電元件一併設計、製造成功能複雜的系統將是一個重要的研究課題。

3. 光電積體電路之研究

將微光學元件和主動光電元件(如雷射二極體等)、半導體元件整合在一起的光電積體電路可以降低微光電系統組裝時的對準誤差、提高系統效能、降低生產成本，對於光通訊、光顯示、光儲存以及其他光電應用將有極大之貢獻。

4. 光子晶體之研究

如果在電磁波中製造出具有其波長尺度下週期排列的介質，則類比於電子的物質波與原子晶格的大小，電磁波在此巨觀排列的行為將有如電子在晶體中般，被此排列週期、空間結構和介質的介電常數來控制，可以在電磁波的波長尺度下設計並製造出想要的光的特性，在光波尺度下這種新的人工晶體被叫做光子晶體(photonic crystal)，光子晶體在製造光波元件上將有很大的應用範圍，因此被視為是相當嶄新且重要的新一代光電材料。如何利用此一新穎的材料設計並製造出具有特殊功能的微光學元件將是一個重要的研究課題。

(三) 一般研究

展，利用微機電技術，製作光纖衰減器，光纖耦合器，光纖交換器及光纖隔絕器等微光機電元件及模組。

在 Tb/s 光纖骨幹系統，需發展光纖感測系統，及其監控系統，以提昇網路系統的功能。

在光電領域之中，往往需調制光信號，因此需發展各種光波導的光調制器如馬氏調制器 (Mach-Zehnder modulator)，多模干涉調制 (Multimode interference) 以及極化分離器，為發展高密度波長分域多工器的路由，須發展利用電光或聲光效應的光波導波長轉換器及作為波長分域多工器的光柵陣列波導光柵 (AWG) 分工器，以及與光纖封裝成模組的封裝技術。利用微光機電技術以及微影技術發展具有多功能的積體光學元件及模組。在光波導元件及模組，可以利用半導體、有機材料以及介電材料加以完成，探討此等光波導元件及模組的非線性光學特性，以及利用非線性特性所研發的倍頻及三倍頻元件及模組亦為發展的重點方向。

四、參考文獻

光纖：

- [1] B. Kawasaki, M. Kawachi, K. O. Hill, and D. C. Johnson, "Single-mode fiber coupler with a variable coupling ratio," *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-1, pp. 176–178, 1983.
- [2] Y. Bourbin, A. Enard, M. Papuchon, and K. Thyagarajan, "The local absorption technique: A straightforward characterization method for many optical devices," *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-5, pp. 684–87, 1987.
- [3] E. Desurvire, "Study of the complex atomic susceptibility of erbium-doped fiber amplifiers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 8, pp. 1517-1527, 1990.
- [4] A. Lord, I. J. Wilkinson, A. Ellis, D. Cleland, R. A. Garnham, and W. A. Stallard, "Comparison of WDM coupler technologies for use in erbium-doped fiber amplifier systems," *Electron. Lett.*, vol. 26, pp. 900–901, 1990.
- [5] H. Gnewuch, J. E. Roman, M. Hempstead, J. S. Wilkinson, and R. Ulrich, "Beat-length measurement in directional couplers by thermo-optic modulation," *Opt. Lett.*, vol. 21, pp. 1189–1191, 1996.
- [6] F. Bakhti, X. Daxhelet, P. Sansonetti, and S. Lacroix, "Influence of Bragg grating location in fused 100% coupler for add and drop multiplexer realization," in *Proc. OFC*, 1998, paper ThQ2.

1. 光通信系統：

這是目前微光學元件最被廣泛應用的領域，可應用的範圍包括：光收發模組的被動元件、光隔阻器、光準直器、光迴旋器、光纖光柵、光開關、光濾波器、光耦合器，分波多工等。

2. 傳統光學元件與系統：

以微光學元件取代傳統光學系統，以達到消除像差、色差、放大、聚焦、分光及改變光束特性，並使系統更為輕薄短小，應用範圍包括各式透鏡、分光鏡、漸變折射率透鏡等。然而因為傳統光學系統被大量應用於光電系統，以下再把各個應用領域分開敘述。

3. 光顯示器：

主要的應用例如投影顯示器、液晶顯示中背光模組的導光板、彩色濾波器等。此外，結合發光二極體與微光學元件亦可產生功率極高的光顯示器。

4. 光儲存系統：

主要的應用有 DVD、CD 等光碟光學讀取頭的繞射光學元件，功能以聚焦、分光及改變光束特性為主。

5. 精密光學量測及製造：

可應用之技術如微光譜儀等，功能以消除像差、色差、聚焦及改變光束特性為主。

6. 生醫光電研究：

主要用於取代傳統光學系統，而使用在如內視鏡、光學斷層掃描、雷射手術等，功能以聚焦、分光、改變光束特性及減少系統體積為主。

7. 光機電整合系統：

微光學元件可以和微機電元件整合，完成功能複雜、體積極小的光機電系統，應用的例子有微光譜儀、微致動器、微光學系統等。

8. 光計算系統：

可應用於光電互連網路、光開關、空間調變器等，功能以聚焦、

分光及改變光束特性為主。

幾乎在所有需要將光電系統、模組微型化的應用中都使用到微光學元件，因此應用的範圍不應該限定於上述之研究。

國內相關研究現況：

目前國內從事微光學元件設計與製造的研究多集中在學術單位(如台灣大學、交通大學、中央大學、台北科技大學中相關系所等)、官方(國科會精密儀器中心)及半官方(工研院光電、機械、材料等研究所)研究機構中，近來，因政府大力推廣有關奈米材料、元件的研究，有關微光學元件的研究也在多所學術單位中展開，相信不久將有大量相關的研究成果發表。民間方面，部分光通信、傳統光學及半導體製造業者則較著重在微光學元件的製造。

四、光學鍍膜

光學鍍膜技術及元件的掌握，對光學產業的發展具有關鍵性影響。以數位相機、投影機、光碟機及光通訊為主軸的高科技產業，近年在國內快速發展，構成新興光學產業的主要元素；此時光學鍍膜將扮演重要的角色，而光學鍍膜產品日新月異，如何設計適當的產品，增加產品價值與良率及降低製造成本已是當前最重要的課題。

(一) 重點研究

而光學鍍膜的研究與發展可分為以下四個部分論述之

1. 鍍膜設計

光學鍍膜設計近年來由於各種軟體的陸續上市，已十分便利，然而欲達到降低成本的目的，需加以利用各種可能的鍍膜材料與特殊之鍍膜設計，一方面降低時間與材料上的成本；另一方面增加鍍製的可行性與便利性，以增加良率。

2. 鍍膜技術

傳統熱蒸鍍(電子槍或熱阻舟蒸鍍)與濺鍍(二極、三極或 RF；不管有加磁場或無加磁場)所得之膜結構為柱狀多晶膜，因此對環境變化顯得相當不穩定，其主要原因是蒸鍍原子(或分子)之動量不足，改善之道可利用離子輔助蒸鍍(Ion-assisted Deposition, IAD)的方法。有關 IAD 報導之文章相當多，但至今即使先進國家做出之鍍膜機價高

在千萬元以上，其良品率仍然很低、重覆性不高，且鍍緻後的成品需要面臨使用環境的挑戰，例如在高功率雷射雷射光的照射下之膜質變化，以及分波多工窄通濾光片(DWDM)中的膜層因為溫差所造成的應力變化乃至於波為飄移的不良結果，這些挑戰再再使我們必須對膜層的品質的提高要求，而高等的膜質要求必須建立在對膜層微觀結構(microstructure)的了解與控制。

這一個部分有賴於 (1)靶材激發之微觀模擬研究

(2)氣體激發後之分子動力模擬

(3)分子結晶成膜之物理分析

這三個部分必須加以研究與其他領域結合，以對成膜的特性作一充分的掌握，如此一來，便可以將薄膜的應力應變行為以及膜層品質透過實驗來加以控制。

3. 鍍膜監控技術

由於光學鍍膜對膜厚有極高的準確度要求，因此如何在鍍膜的同時對薄膜的厚度加以監控，對薄膜良率的提升有很關鍵性的影響，目前廣泛的監控方式有石英振盪膜厚機以及光學反射率與透射率監控兩種方法，但是如何掌握即時性是一重要課題。

4. 薄膜特性量測技術

在光學薄膜的領域裡，光學常數(折射率、消光係數以及厚度)佔有很重要的角色，因此，如何利用實驗的方法來決定光學常數，便為一重要的課題；而一般而言，常用的方法為光譜分析儀，然此種方法精確度較差，而精確的測量有賴於橢圓偏光儀與全反射衰減儀：將金屬膜的折射率、消光係數與幾何厚度代入反射率的夫瑞奈方程式，以優化的方法得到和量測到的數據最符合的值，即為具有相當精確性的解；這種方法已被應用在各種，並且其精確度相當高。

(二) 前瞻研究

1. 鍍膜設計

精密的光學鍍膜現更需要考慮膜層因不均勻性以及表面粗糙度等微觀結構所造成之損耗，因此如何在既有的便利軟體設計外，更進一步地以各種物理模型考慮微觀結構所造成的影響，也是鍍膜設計的重要課題。

2. 鍍膜技術

高等的膜質要求必須建立在對膜層微觀結構(microstructure)的了解與控制，這一個部分有賴於 (A)靶材激發之微觀模擬研究 (B)氣體激發後之分子動力模擬 (C)分子結晶成膜之物理分析 這三個部分必須加以研究與其他領域結合，以對成膜的特性作一充分的掌握，如此一來，便可以將薄膜的應力應變行為以及膜層品質透過實驗來加以控制。

3. 鍍膜監控技術

將更高靈敏度的量測設備(例如：橢圓偏光儀、全反射衰減儀等等)將之運用在鍍膜的光學監控上也會有極佳的效果，只是需要考慮鍍膜環境下之光學架構，而光學特性的計算優化方式也亟待開發與研究。

4. 薄膜特性量測技術

隨著對薄膜品質的要求，近年來的光學量測已逐漸對薄膜的微觀結構加以分析與探討，包括表面粗糙度、膜層的柱狀結構、膜層不均勻性以及應力應變等等，都隨著光學量測技術的進步而日新月異。

(三) 一般研究

光學鍍膜以干涉為基本的原理，基於透射反射偏振以及相位在光譜上的變化，使光學薄膜具備以下的功能：

1. 反射率與透射率的提高與降低。
2. 分光作用：包含中性分光、雙色分光及偏極分光。
3. 帶通、帶止、長波通或短波通之濾光片。
4. 輻射熱與發射率的控制、光通量與相位調變。
5. 光波引導、光開關與積體光路。
6. 光資訊之記存。
7. 色光、色溫調變，色光顯示、色光反射。
8. 液晶顯示功能之彰顯。

值得一提的是光學薄膜量測技術的進步已被生物感測技術所重視，運用純熟的光學薄膜量測技術將之運用於生物感測技術上，將有相當大的發展空間。

五、光學元件

在國內產業發展統計指出，1996 年的光學元件與器材產品總產值為 187.3 億美元，僅比 1995 年成長 4.7%，可知此產品業已達成熟期，其中以照相機、光學鏡片及眼鏡所佔的比例最大，三項產品產值已達 160 億美元左右，佔 88% 左右，預計 2002 年光學元件與器材產值將達到 250 億美元。

國內光學元件與器材產值中，以太陽眼鏡及照相機為最大產值，但大部份已移轉到大陸生產。然而國內光學元件與器材廠商為數眾多，因此如何協助廠商往高附加價值的光電化資訊產品來發展，並與我國成長最快的資訊業結合，確實是當務之急。精密光學元件在光資訊產品中扮演極重要的角色，如光儲存設備之光學讀取頭、影像掃描器之光學掃描頭、傳真機之掃描頭... 等。而發展光資訊產業，若不能掌握關鍵性光學元組件之製造技術，將受制於元組件的供應來源，而阻礙國內產業的發展空間。

(一) 重點研究

然而精密光學元件之競爭挑戰，必須首重之發展策略有以下幾點：

1. 提昇鏡片、繞射及薄膜光學元件的設計技術，加強精密光資訊元件的開發能力。
2. 建立超精細的玻璃、塑膠、模造製程、精密加工、薄膜監控制程，以高度可靠性的製程能力，提高產品品質與競爭力。
3. 配合光資訊的新技術密集需求，尤其是 DVD、網際網路及光纖通訊產業的興起，建立多功能的 DVD 光學讀取頭物鏡，以及高品質光纖高密度 WDM(DWDM)元件之產品技術，為光資訊/光通訊業者開發具競爭力產品奠定基礎。

(二) 前瞻研究

在未來的趨勢分析，可大致分為三個方向：

DVD 光學讀取頭關鍵元件：

1. 微小光學元件(光資訊)。
2. 多功能光學薄膜元件(顯示元件)。
3. 高精度非球面玻璃造鏡片製程可靠度，低成本技術。
4. 繞射光學元件。

5. 可抹式 DVD 光學讀取頭物鏡、分光鏡。
6. 高精度非球面塑膠鏡片射壓成型技術。

取像、顯示及儲存元組件：

1. Video phone、DSC 等 CCD 取像鏡頭。
2. CD、CD-ROM 等高精度非球面透鏡。

其他先進光資訊元件製程技術：

1. 光學玻璃材料生產技術。
2. GRIN 元件。
3. 新世代鏡片製程技術(Hybrid, Sol-gel, …)。

(三) 一般研究

光資訊元組件的發展於目前來說，其技術領域包含項目有：

1. 建立鍍膜技術，自動化光學鍍膜技術。
2. 非球面模造玻璃鏡片基礎技術。
3. 雷射二極體準直透鏡。
4. 唯讀式影像光碟機光學讀取頭分光鏡。
5. 顯示型全像片。
6. 全像掃描器技術。

六、光學量測

我國的產業向來缺乏光學量測儀器這一環，絕大部份的光學量測儀器均自國外進口，近年來由於新興產業之興起，部份廠已開始致力於精密量測系統之發展。然而，大多數仍歸屬於電子儀器類。現今的為科技產品買賣均以單件計價方式，必須做到百分之百的全檢，如 IC、PCB、LCD、BGA、光通訊元件、模具、渦輪葉片等等。除了電性檢驗外，外觀尺寸及表面瑕疵檢測也是必須項目。自動化光學檢測 (Automatic Optical Inspection, AOI) 的產業時代顯然已經來臨，它具有以下特質：

1. 使用者：不影響線上製程、新興產業少不了它、價格昂貴、全都進口、維護更新不易。
2. 製造者：需要高進入技術門檻，光-機-電-資訊技術整合，人才取得不易，毛利高(60%以上)。
3. 研究單位：具有設備研發人力與技術。

4. 學術單位：具有影像處理研發能力。

大學內近年來已有不少教授從事 AOI 的研究，包括 3D 外形掃描及表面瑕疵，相關儀器製造廠商也已逐漸增加，但大部分均集中於採用習知的原理作巨觀的量測，如：逆向工程、曲面綴合、影像處理技術、Shadow Morie、光學投影二元尺寸及形狀量測、光學尺、三角法、相位移、干涉法、相位細分割、瑕疵分類演算法則等等的系統建立及細部技術改進。

因應產業需求逐漸走向積體化、微細化、高速化，光學量測技術的發展也必須跟進。國科會於(90.12.12)及(91.5.31)所主辦的全國 AOI 兩次論壇中與會產學研人士由 50 人急增至 200 餘人，受重視程度可想而知。對 AOI 論壇的重要結論摘錄如下：

1. 技術發展五大趨勢

a. 檢視高速化 b. 分辨能力微小化 c. 軟體智慧化 d. 應用多元化 e. 系統模組化。

2. 技術瓶頸

a. 軟體分析方法 b. 影像解析度 c. 光源均勻性 d. 檢測速度 e. 檢測穩定度。

3. 未來技術方向

a. 多 CCD b. PC-based c. Multi-Processor d. 3D AOI 技術 e. 多層顯微 AOI 技術 f. 結合 SPC 技術提高良率改善製程。

4. 欠缺人才

a. 系統分析 b. 軟體設計 c. 機構設計 d. 系統整合 e. 光電測試 e. 製程改善 f. 行銷企劃。

(一) 重點研究

1. 數位彩色影像處理：色度校正、彩色座標系統、圖形識別、2D 瑕疵分類應用(PCB, Monitor, LCD, Shadow mask, 布匹等等)
2. 微 3D 量測技術：干涉法、全像法、投射條紋法、疊紋法、立體顯微術
3. 高速 2D 影像掃描瑕疵檢測技術：動態取像、影像疊合、圖形判別、瑕疵分類應用(導線架、銅箔版、熱鋼板、小零件、PCB、BGA substrate 等等)
4. 光通訊元件光學量測：光纖切割及研磨精度、光纖套統、光波導、光

連接器、光開關元件等

5. 光探頭量測技術研究：共焦探頭、自動聚焦探頭、光纖探頭、SNOM、多陣列光探頭等
6. 多軸精密校準技術：光纖校準、微結構封裝、IC校準技術
7. 薄膜量測：鍍膜厚度、表面輪廓及粗度

(二) 前瞻研究

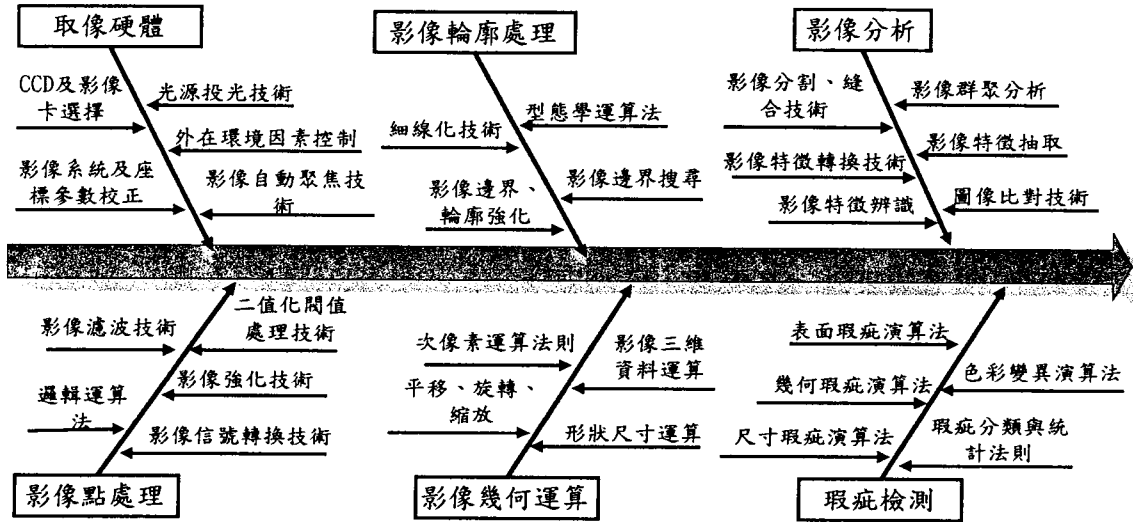
1. 微 3D 高速量測技術：BGA, Bumps, Solder past, Micro array lenses, IC profile。
2. 3D 彩色影像表面量測技術：PCB 錫球高度, Bonded wires, Thermal images。
3. 二元光學技術於微型化量測系統的建立：微光機電量測系統、二元光學元件製作。
4. 多頻干涉技術於高頻振動及微 3D 輪廓量測：Multiple wave interferometer, 橢偏儀。
5. 奈米級三維量測技術：Nano-CMM, Stereo Microscope。
6. 平面定位技術：平面光學編碼器。

(三) 一般研究

1. 速黑白影像 2D 尺寸量測
2. 彩色影像 2D 尺寸量測
3. 多光學感測器量測技術：多 CCD 探頭及混成式光探頭量測
4. 數位影像處理技術：光源系統、CCD 校正、次像素技術、不可見光影像處理
5. 線上自動化光學檢測系統：各種產業應用（含驅動機構、量測、控制器等）
6. 光學影像運算：形態學(Morphology algorithm), 傅立葉轉換、小波分析、碎形分析等等。

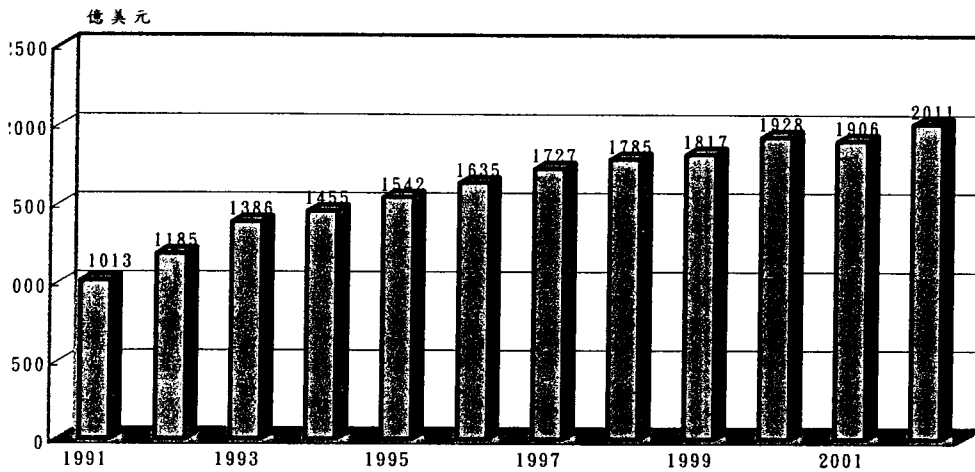
產業技術概況：

光學檢測技術魚骨圖



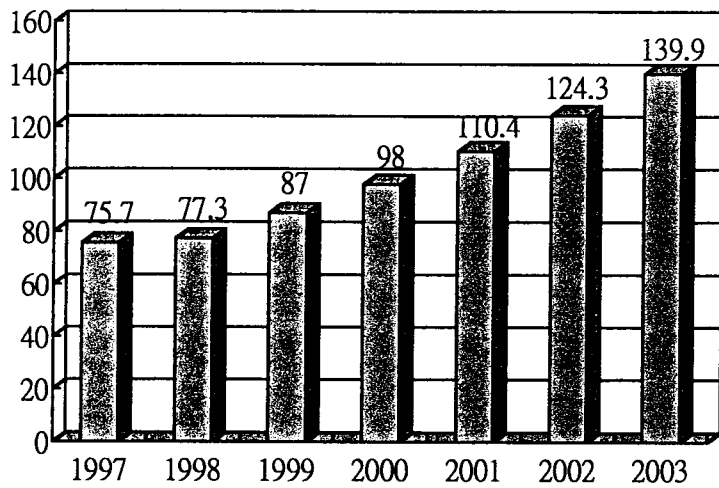
自動光學檢測技術應用

全球儀器市場：



資料來源：美國Industrial Outlook,日本計量機器工業連合會，日本通產省工業統計調查,經濟部工業統計年報 工研院經資中心ITIS計畫(2002/3)

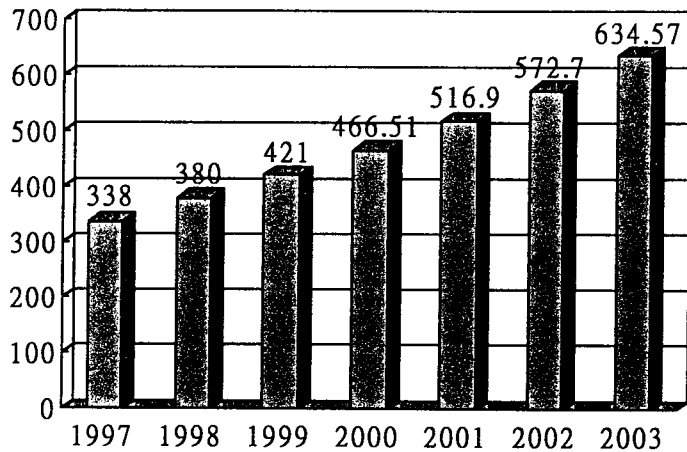
AOI 市場產值預測(US:電子業, million USD)：



(Source : 1998 results and forecasts through 2003)

AOI 於美國電子業成長率約 8%

AOI 市場產值預測(US:半導體業, million USD) :



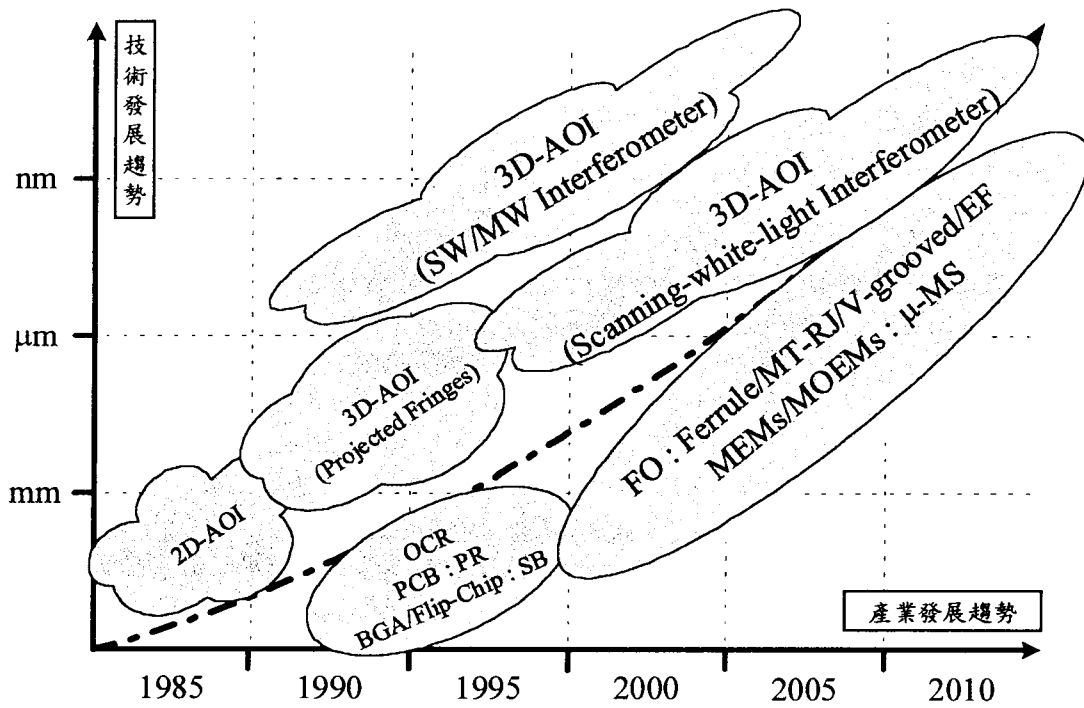
(Source : 1998 results and forecasts through 2003)

AOI 於美國電子業成長率約 15%

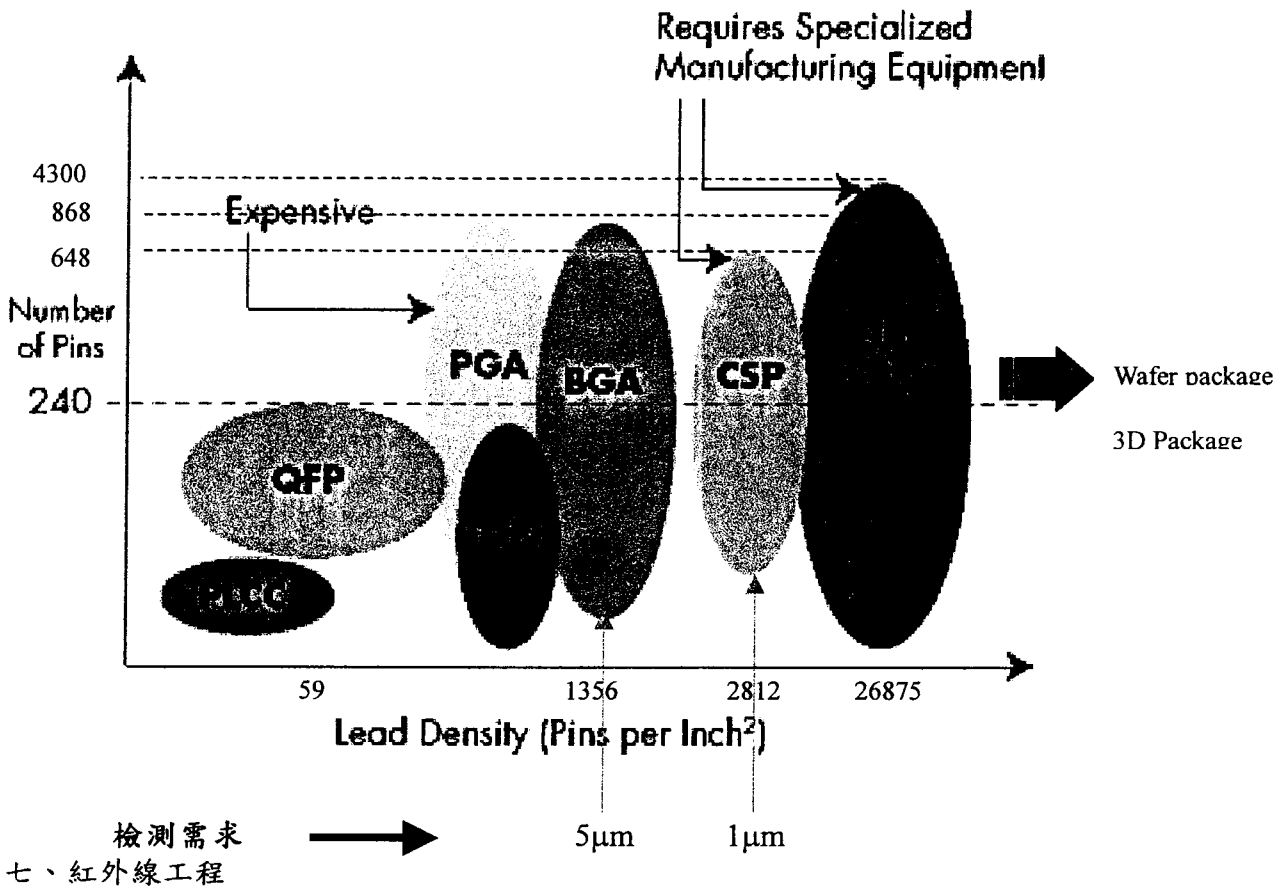
精密二維/三維形貌及尺寸光學檢測儀器發展趨勢：

波導元件：

- [7] M. Heiblum and J. H. Harris, "Analysis of curved optical waveguides by conformal transformation," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 11, pp. 75-83, Feb. 1975.
- [8] Buchmann and H. Kaufmann, "GaAs single-mode rib waveguides with reactive ion-etched totally reflecting corner mirrors," *J. Lightwave Technol.*, vol. 3, pp. 785-788, Aug. 1985.
- [9] S. K. Korotky, E. A. J. Marcetili, and R. H. Bosworth, "Greatly reduced losses for small-radius bends in Ti-LiNbO₃ waveguides," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 48, pp. 92-94, Jan. 1986.
- [10] S. Fouchet, A. Careno, C. Daguet, R. Guglielmi, and L. Riviere, "Wavelength dispersion of Ti induced refractive index change in LiNbO₃ as a function of diffusion parameters," *J. Lightwave Technol.*, vol. 5, pp. 700-708, 1987.
- [11] K. Hirayama and M. Koshiba, "A new low-loss structure of abrupt bends in dielectric waveguides," *J. Lightwave Technol.*, vol. 10, pp. 563-568, May 1992.
- [12] M. Hempstead, "Determination of diffusion profiles of neodymium in lithium niobate by means of spatially-resolved fluorescence measurements," *J. Appl. Phys.*, vol. 74, pp. 5483-5492, 1993.
- [13] M. Yanagisawa, Y. Yamada, and M. Kobayashi, "Low-loss and large-tolerance fiber coupling of high- Δ silica waveguides by local mode-field conversion," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, pp. 433-435, Apr. 1993.
- [14] M. Majd, B. Schuppert, and K. Petermann, "90° S-bends in Ti-LiNbO₃ waveguides with low losses," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 806-808, July 1993.
- [15] G. R. Hadley, "Design of tapered waveguides for improved output coupling," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 1068-1070, Sept. 1993.
- [16] H. B. Lin, J. Y. Su, P. K. Wei, and W. S. Wang, "Design and application of very low-loss bends in optical waveguides," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 30, pp. 2827-2835, Dec. 1994.
- [17] I. Mansour and C. G. Someda, "Numerical optimization Procedure for low-loss sharp bends in MgO co-doped Ti-LiNbO₃ waveguides," *IEEE*



Micro 3D 量測技術趨勢：



人是藉由物體反射光線的性質而辨知物體的存在，但是人眼所看見光線的波段範圍是在 $0.35\sim 0.75\mu\text{m}$ ，只佔了全部光譜中的一小部分。事實上，不同溫度的物體均可自行輻射出不同波長的光線。例如，在室溫下的物體主要發出波長約為 $10\mu\text{m}$ 的紅外線，隨著溫度升高，物體所發射出的紅外線的強度也越高，而輻射強度最強的波長也越往短波長偏移。就 6000 K 太陽表面所輻射出來的光而言，其已進入可見光的範圍內，可為人類所感受到。然而，在我們的周遭事實上充斥著人眼所無法察覺的「紅外線」。因此紅外線影像的開發可以拓展人類的「視野」，並且發覺各種可能的應用。

目前紅外線工程主要有兩大應用：一為光纖通訊工程；另一為熱影像工程。光纖通訊系統方面之應用已於光纖與波導光學專長分類中詳述，於此不再贅述。而於紅外線工程中要研究之光纖通訊系統，強調以矽為平台，能整合各元件於單一晶片而形成晶片系統為原則，相關題材主要可分類如下：

1. 光纖通訊用紅外線偵測器及發射器。
2. 光纖通訊用紅外線驅動及讀出電路。
3. 光纖通訊用 DWDM 波長鎖定模組。
4. 光纖通訊用光電元件合組成的 SoC 晶片。
5. 光纖通訊用紅外線於半導體常用介質中之光學特性。

此五個次領域可依其重要性分別歸類於重點研究及一般研究等兩研究範疇中。

至於熱影像工程可應用在於環保、醫療、監視器與軍用，包括化學氣體偵測、醫療診斷、溫度監測、夜視裝備、紅外線遙測、反制、植物生長與發育的基本研究等方面。舉例而言，將紅外線熱影像攝影系統安裝於無人駕駛的飛行載具上，並與載具的飛行速度同步配合，即可掃描出二維的熱影像而辨認出環境中較高溫度的物體。這項功能非常有益於山難或海難中尋找受難者之用，而且由於救難者不必親自冒險尋找，將可大量減輕救難風險，非常適合台灣救難隊的需要。

在紅外線熱影像工程中，目標物所輻射出的紅外線，經過大氣中而部分衰減，然後抵達紅外線攝影系統中的光學接收組件，接著是紅外線偵測器將所接收的紅外線轉換成電訊號，經過訊號處理電路的作用，最後即能將紅外線

影像轉換成可見光影像而顯示在顯示器上。這整個過程說明了紅外線熱影像工程相關的研究領域可分類如下：

1. 物體紅外線輻射率的研究
2. 紅外線在大氣中的衰減機制
3. 紅外線光學接收組件
4. 紅外線偵測器及其焦平面陣列
5. 偵測器訊號的讀出電路
6. 光電元件合組成的 SoC 晶片

此六個次領域可依其重要性分別歸類於重點研究及一般研究等兩研究範疇中。

值得注意的是，紅外線偵測器是整個紅外線熱影像工程的研究中心，尤其是利用半導體材料所製作的紅外線偵測器。其中以電子吸收紅外線躍遷能階的方式，由於反應的速度快而成為研究的主流。此類偵測器主要分為兩類，其中一類是利用電子吸收光子能量，從價電帶躍遷到導電帶而形成可導電的電子與電洞。由於紅外光的光子能量小，相對應地需尋找帶溝較小的半導體材料來製作偵測器。現今的窄帶溝半導體(如 MCT)的成長與製程技術並未十分成熟，因此並不適合製作大型的焦平面陣列 (Focal Plane Array)。另外一類製作紅外線偵測器的技術則是利用先進的磊晶技術，將兩種以上的寬能帶半導體所組成的奈米結構成長在基板上。由於不同的半導體材料具有不同的電子位能，在兩種半導體的介面處，電子或電洞的位能突然發生變化，此介面稱為異質介面 (Hetero-junction)。因此，在一個異質介面半導體系統中，載子所看到的位能可以藉由實際磊晶成長的半導體材料與半導體厚度加以控制。這種以人工的方式控制與設計半導體中載子的位能，就是所謂的能帶工程。由於此類的相關研究是世界學術領域的熱門研究主題之一，且與奈米科技相關，所以將其列入前瞻研究的領域中。

(一) 重點研究

熱影像工程方面：

1. 紅外線偵測器及其焦平面陣列

紅外線偵測器的製作原理可以是溫度對材料本身特性的影響，或者是電子或電洞吸光所造成的光電流響應，進而是利用微機電的方式所製作成的紅外線偵測器等等，均是重點研究的範圍；只要有助於提

高偵測度的新方式均是支持鼓勵的對象。由於紅外線偵測器所偵測紅外線的能量很小，一般是需要冷卻至低溫才能正常工作，對於高溫(大於 77K)紅外線偵測器的研發，也是個研究的重點；尤其是非冷卻式但有不錯偵測度的紅外線偵測器之製作。更進一步地，發展偵測器的焦平面陣列之製作，這不但是將單一偵測器的研究成果商品化的重要步驟，同時也是提昇製作技術水準的指標。

2. 偵測器訊號的讀出電路

這是跨紅外線工程與電子電路系統的研究。將紅外線偵測器的電訊號讀出，這是讀出電路的主要功能。但由於紅外線偵測器的某些獨立特性，相對應的讀出電路就必須與之配合。例如低溫的工作環境，這意味著讀出電路也必須能在低溫環境下正常工作。

3. 光電元件合組成的 SoC 晶片

SoC(System on Chip) 是國家發展電子工業的暨定目標，紅外線熱影像工程也有部分是可以組合在單一晶片上的。例如配合微機電的方式，將光學接收組件、偵測器陣列及訊號處理電路積體製作於同一晶片上，或利用 Wafer Bonding 的技術合組成單一晶片，均是值得推廣的研究重點。

光纖通訊工程方面：

1. 光纖通訊用紅外線偵測器及發射器：1.3 μm 、1.5 μm 紅外線偵測器及發射器，以能與矽平台整合為重點。
2. 光纖通訊用紅外線驅動及讀出電路：MUX、modulator driver、preamplifier (transimpedance amplifier)、main amplifier、decision circuit、clock recovery circuit、DEMUX。

(二) 前瞻研究

熱影像工程方面：

根據由 800 個科學家與工程師所規畫的 ITRS(international technology roadmap of semiconductors)，在傳統半導體技術在 2014 年發展到了極限，

傳統的 MOSFET 元件尺寸無法小於 20nm。而奈米電子可以補其不足增加現有 IC 的功能、速度與密度。將光電、生醫、微機電加入其中，使得 SoC 系統單晶片的功能與價格能大幅降低，使奈米科技與半導體工業接軌。因此，在紅外線工程中與奈米科技接軌的部分，就值得提昇為前瞻性的研究。

由於電子或電洞受限於奈米尺寸的位能井中，其所能存在能階的能量差，是在紅外線的範圍內，因可利用此奈米結構製作成紅外線偵測器。與此相關的偵測器研發有：量子井紅外線偵測器、量子點紅外線偵測器、超晶格紅外線偵測器、及分子紅外線偵測器等等。其中所用的材質可以是 III-V 化合物半導體或 IV-IV 化合物半導體，甚至是 MSM(Metal-Semiconductor-Metal)結構、或是化學組合而成的分子，以及相關的理論研究，均是本紅外線熱影像工程所提倡的前瞻性研究。

光纖通訊工程方面：

1. 光纖通訊用 DWDM 波長鎖定模組：隨著 DWDM 之發展，需要有能精確鎖定波長之模組。
2. 光纖通訊用光電元件合組成的 SoC 晶片：光電模組目前價格尚高，若能合組成 SoC 晶片，以矽為主的製程製造，或許能使價格下降。

(三) 一般研究

熱影像工程方面：

1. 物體紅外線輻射率的研究

不同溫度的物體均可自行輻射出不同波長的光線。其中，在學理上一理想狀態下的輻射體，即所謂的黑體(blackbody)，其輻射出光線是個標準頻譜 $L_B(\lambda, T)$ ，它不僅是波長 λ 的函數，也隨著黑體溫度 T 而改變；而一般溫度為 T 的物體，其輻射出的頻譜則為 $\epsilon(\lambda, T)L_B(\lambda, T)$ ，其中 $\epsilon(\lambda, T)$ 為該物體的輻射率(emissivity)，其值介於 0 與 1 之間。換言之，黑體的輻射率即為 1。類似於吸收係數 $\alpha(\lambda, T)$ ，輻射率 $\epsilon(\lambda, T)$ 也是材料的重要參數之一，而且利用熱影像來遙測物體的溫度，也必須事先得知輻射率的值。在另一方面，理論上研究輻射率，相關文獻並不多，然而隨著紅外線熱影像工程技術的成熟，輻射率 $\epsilon(\lambda, T)$ 也即將成為未來跨物理領域的研究重點。

2. 紅外線在大氣中的衰減機制

紅外線在大氣傳播時，可能為大氣分子所吸收，或者是被空中灰塵所散射而造成前進方向的光強度衰減。這些吸收及散射機制對紅外線傳播的影響，是涵蓋紅外線工程及電波工程的跨領域研究。其中大氣的吸收作用對紅外線傳播的影響，可從此得知大氣的組成成份，進而得知大氣中是否存在有毒氣體成份，故這方面的研究也有助益於環保的應用。至於灰塵散射對紅外線傳播的影響，則有益於瞭解灰塵在大氣中的流動機制。這方面的知識也可應用於增進航空安全，因為空氣渦流會帶領灰塵旋轉，若能利用紅外線探知灰塵是否旋轉，即可分辨出渦流的所在位置，飛行體即可避免進入渦流區而造成危險。

3. 紅外線光學接收組件

紅外線光學接收組件，其實是指利用透鏡或反射鏡的組合，將紅外線聚焦於偵測器的焦平面陣列中。其中光學元件的組合方式並不是研究的範圍，而如何利用微機電的製程方式將光學接收組件與偵測器積體製作於同一晶片上，這才是一值得研究的主题。

光纖通訊工程方面：

光纖通訊用紅外線於半導體常用介質中之光學特性：為了以矽為平台，能整合各元件於單一晶片而形成晶片系統，需要對半導體常用介質之光學特性（反射係數、折射係數等）做一徹底研究，以期能開發出新的紅外線光學模組，或許微機電技術亦能派上用場。

產業技術概況研究：

紅外線熱影像攝影系統已有多家公司(如 FLIR Systems, NEC 等) 生產銷售，市售價格在 100 萬至 400 萬台幣之間，前者是非冷卻式的紅外線偵測器陣列，後者是須冷卻的量子井紅外線偵測器陣列。目前在商業用途方面，均是使用於非破壞檢測、工業流程監控等等。

根據光電科技工業協進會的調查，在 2000 年台灣市場在紅外線熱影像工程方面有七億一仟萬台幣市值，預估逐年提昇，在 2003 年可達到十一億台幣。

八、色彩學及其應用

人藉著五官感知週遭環境的各種訊息，其中眼睛無疑佔著最重要的位置，而色彩則是視覺中不可或缺的一環，尤其在數位多媒體時代，精確、擬真的色彩呈現技術之重要性更是與日俱增。

色彩學不像電子、機械、或化工等有一個明確的產業，而是廣泛分布在日常生活的各個領域中，舉凡印刷、塗料、紡織、照明、攝影、印表機、掃瞄器、顯示器、藥品、化工、食品、建築、醫學、交通、廣告、環保等等產業，都缺它不可。各種新式輸出入設備的開發，使得設備與設備之間的色彩管理技術越來越重要，而網際網路、電子商務的發展，更突顯了遠距精確色彩重現的需求。如何使得影像輸出，傳送再輸出的過程中唯持一致性，一直以來都是重要的課題。

色彩對人類而言有感情的成分，然而，當它與近代軟硬體科技結合時，卻必須以數位化資料呈現。在量化的數字和模糊的感情知覺之間，如何有效的連結，使數位化時代的色彩兼顧人類的知覺，正是目前色彩科技研究的重要課題。

(一) 重點研究

1. Color reproduction in display devices :

在光電產業中，與色彩學最直接相關的就是顯示器產業，在 CRT 逐漸勢微後，LCD 成為顯示器的主流。台灣目前的兩兆雙星計畫中，LCD 產業是其中一個重要產業。LCD 中，彩色濾光片、廣視角膜、及增光膜、的色譜特性都會影響到最後色彩顯示的正確性。其中光只是彩色濾光片就佔了 LCD 模組 35% 的成本。而目前這方面的相關技術、專利幾乎都被日本廠商掌握住。如何將這些相關科技本土化，甚至以自有技術突破專利藩籬外再降低成本，應列為未來重要研究方向。而發展中的 OLED 及 奈米碳管場發射等先進顯示技術之彩色化與相關色彩技術亦值得列入重點研究。

2. Digital photography related color technology :

近年來，數位相機取代傳統相機的驅勢逐漸加速，而數位相機之關鍵組件：彩色 CCD 仍只有少數日本廠商生產。由於今年數位相機的市場需求遠高於日本廠商的預期，而出現嚴重二百萬相素以上的

CCD 嚴重缺貨的情形。也由於 CCD 的使用使得數位相機的價位居高不下。如何能夠製造更好色彩表現的 CCD 或是 CMOS 影像感測器，並降低其成本，以及數位相機中相關色彩科技的研究，應列為未來重要研究方向。

3. Color reproduction in printing device

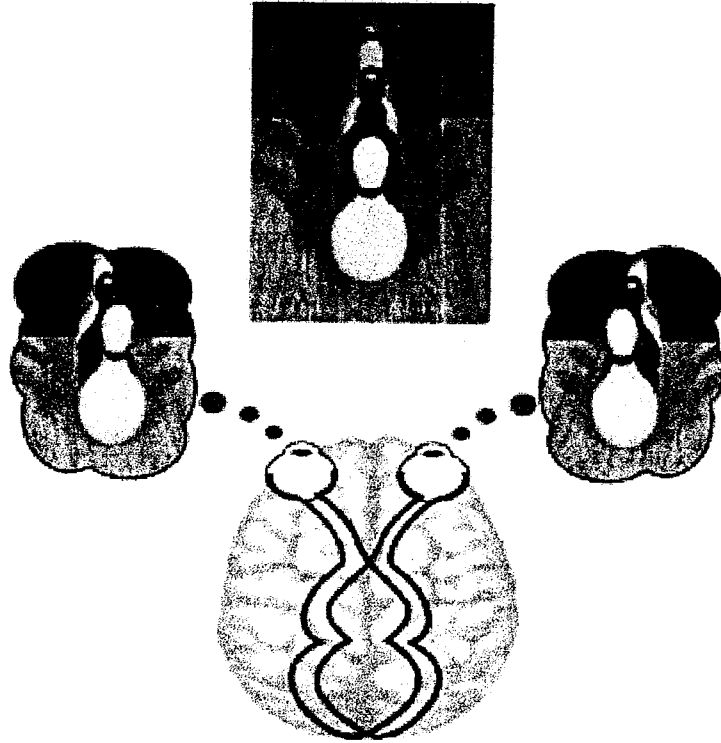
隨著 Canon 在噴墨印表機的主要專利過期，國內開始建立從噴頭、染料、甚至未來到整機的相關產業。同時配合數位相機取代傳統相機的趨勢，如何便宜、快速的印出無色彩偏差的相片，也是日漸重要的科技。其中相關的技術從材料、資料傳送、CCD 與 CMOS 影像感測器、列印技術等都應列為重點研究項目。

(二) 前瞻研究

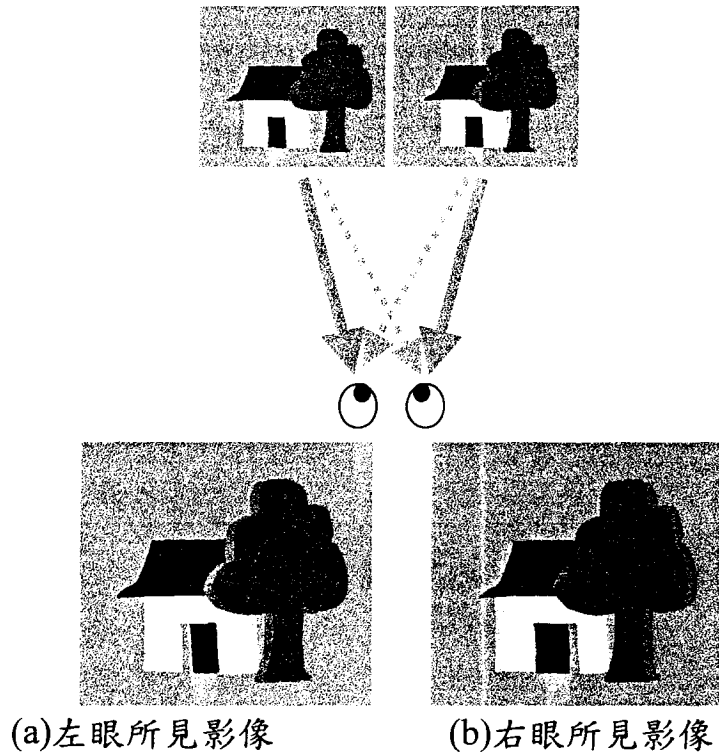
1. Three-dimensional color imaging and display

在多媒體、網際網路逐漸成為人類生活的一部份之際，顯示技術也當然成為最主要的人機介面，人們透過顯示器接收文字、數字、圖形、影像等等豐富的資訊，也透過顯示器與數位化、網路化建構的虛擬空間連結。顯示器從最早的黑白、彩色、大畫面，到高畫質，正不斷朝向提供最接近自然視覺的高解析度、大視角，及提供正確的色彩、空間等資訊發展。因此，一個不需佩帶特殊眼鏡觀賞的高畫質裸眼式 3D 顯示器，已被視為未來必然的發展趨勢。

近幾年來，裸眼式 3D 顯示技術的研究在先進國家如雨後春筍般出現，各種應用技術，如全像技術、投影技術、時間多工技術、空間多工技術、和精密人眼追跡技術等，逐漸被一一開發和引用，促成了裸眼式 3D 顯示硬體技術的進步。然而，一個理想的 3D 顯示器，並非僅取決於其硬體技術。由於 3D 顯示器需透過兩眼視差(Binocular parallax)和移動視差(Motion Parallax)提供正確而逼真空間深度知覺，與先前的 2D 顯示器有絕大的不同，因此其與視覺心理、生理的關係也迥異，而顯示影像的各種特性，對人眼接收後產生的感覺，也有不同的影響。



色彩對 2D 顯示而言，影響的是其擬真的程度、個人偏好、及觀者心情，通常不致於影響人對物體的辨認。然而，對 3D 顯示器而言，則有顯著不同。由於 3D 顯示器主要係利用讓觀賞者的雙眼看到視角略有不同(兩眼視差)的影像，利用大腦的融像功能，建立空間深度知覺(如右圖所示)，顯示色彩與實物色彩的差異，或兩眼接收影像間色彩的差異，都將可能造成立體視覺或空間深度感的破壞或誤差，進而造成觀賞者的視覺疲勞，對於需精密深度資訊之應用，則可能造成深度的誤判。此外，由於兩眼所接收資訊不同，3D 顯示器不可避免會有所謂的 Crosstalk 現象，也就是左眼會看到右眼影像的殘光，右眼也會看到左眼影像的殘光(如下圖所示)，其來源包括：系統光學元件的位相差色散(retardation dispersion)或偏極色散(polarization dispersion)現象、光學或顯示元件的散射、繞射現象、成像元件的像差等。Crosstalk 會影響深度的判斷、破壞立體視覺、造成視覺疲勞，嚴重者甚至造成暈眩現象，可以說是 3D 顯示器的主要威脅之一。近來的研究發現，色彩與 Crosstalk 對人的影響程度有密切的關係，當 Crosstalk 一定時，不同的色彩傾向，會造成截然不同的立體效果。如何在 content generation 及 system development 中加入色彩的研究，是今後裸眼式 3D 顯示技術研究必須要走的方向。



2. Full true-color range display technology :

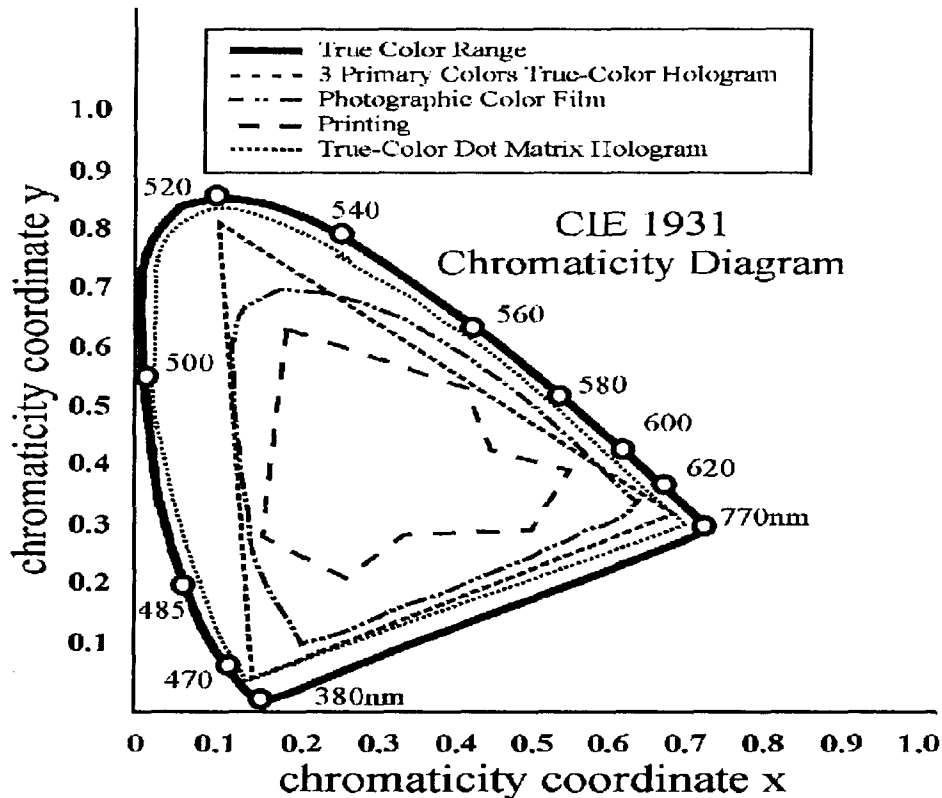
目前的影像顯示或輸出裝置由於成本的限置多是由基本的組成技術製作，如 CRT, LCD 一般是由紅綠藍 (RGB) 色光組色的方式來合成顏色。而印刷一般是由靛青、桃紅、黃、黑四色油墨以半色調 (halftone) 的方式來合成顏色。這些技術所能合成色彩的色域都有一定的範圍，在 CIE 1931 人眼所能分辨的色域中都只能合成部分的色域。如何製作人眼可分辨全視域的顯示或輸出裝置，是重要的前瞻研究方向，下圖是以數位式全像式製版技術以不同間距的光柵點，來繞射非常接近純色光的多原色以合成顏色的技術，此技術可以非常逼近 CIE 1931 定義的全色域。其他可能的方向如雷射光組色的投影顯示技術等，可作為前瞻研究的方向。

Photon. Technol. Lett., vol. 7, pp. 81-83, Jan 1995.

- [18] R. M. Ridder, K. Worhoff, A. Driessen, P. V. Lambeck, and H. Albers, "Silicon oxynitride planar waveguiding structures for application in optical communication," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 4, pp. 930-937, Nov./Dec. 1998.

雷射：

- [19] W. Streifer, D. R. Scifres, and R. D. Burnham, "Coupling coefficients for distributed feedback single- and double-heterostructure diode lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-11, pp. 867-873, 1975.
- [20] K. Kubodera and K. Otsuka, "Single-transverse-mode $\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$ slab waveguide laser," *J. Appl. Phys.*, vol. 50, pp.653-659, 1979.
- [21] Y. Nakano, Y. Luo, and K. Tada, "Facet reflection independent, single longitudinal mode oscillation in a GaAlAs/GaAs distributed feedback laser equipped with a gain-coupling mechanism," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 55, no. 16, pp.1606-1608, 1989.
- [22] J. J. Zayhowski and A. Mooradian, "Single-frequency microchip Nd lasers," *Opt. Lett.*, vol. 14, pp.24-26, 1989.
- [23] Y. Luo, H. L. Cao, M. Dobashi, H. Hosomatsu, Y. nakano, and K. Tada, "Gain-coupled distributed feedback semiconductor lasers with an absorptive conduction type inverted grating," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, pp. 692-695, 1992.
- [24] W. J. Kozlovsky and W. P. Risk, "Efficient diode-laser-pumped 946nm Nd:YAG laser with resonator-enhanced pump absorption," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 28, pp.1139-1141, 1992.
- [25] M. Dinand and W. Sohler, "Theoretical modeling of optical amplification in Er-doped Ti:LiNbO_3 waveguides," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 30, pp. 1267-1276, 1994.
- [26] P. Gavrilovic, M. S. O'Neill, J. H. Zarrabi, S. Singh, J. E. Williams, W. H. Grodkiewicz, and A. Bruce, "High-power, single-frequency diode-pumped Nd:YAG microcavity lasers at $1.3\mu\text{m}$," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 65, pp.1620-1622, 1994.
- [27] B. Borchert, K. David, B. Stegmuller, R. Gessner, M. Beschorner, D. Sacher, and G. Franz, "1.55 μm gain-coupled quantum-well distributed feedback lasers with high single-mode yield and narrow linewidth," *IEEE*



(三) 一般研究

其他可列入一般研究的題目條列如下:

1. Appearance match in color reproduction
2. Visual cortex and the retinex algorithm
3. Color Computations in the Brain
4. Spectral-based imaging
5. Multi-level halftone screen in printing
6. Fast error diffusion
7. Network color management

產業技術研究概況：

色彩方面最主要的標準是由國際照度協會 (Commission Internationale de l'éclairage, International commission on Illumination) 在 1931 及 1976 年分別定立的 CIE 1931 (XYZ)-space 1976 (L*a*b*)-space 準將色彩建立量化的模型, 此色彩空間 (color space) 定義了人眼所有可看到的顏色並以三維座標表示。CIE 國際組織並持續與 ISO(International Standardization Organisation), IEC(International Electrotechnical Commission),

CEN (European Committee for Standardization) 等國際標準組織合作，持續訂立色彩與照明方面相關標準。CIE 下有 8 個 Division，Division 下有為數不等的 TC (Technical Committees)，由主席邀請各國的專家定期開會，負責實際的技術研討、發展與標準草案建立。與色彩有關的有 Division 1: Vision and colour, Division 6: Photobiology and photochemistry, Division 8: Image technology。

隨著電腦技術的發展，影像的數位化成為一股必然的驅勢。而數位影像在輸入裝置(影像掃描、數位相機、數位攝影)、傳遞過程(數位儲存格式、網路傳輸)、及再輸出或顯示(印刷、CRT/LCD 顯示器、電腦列印)的過程由於各輸出入裝置與傳輸媒介有不同的色彩特性，使得在轉換的過程中，會出現色彩偏差的問題。如何解決這樣的問題長久以來有非常多研究投入相關領域。這些色彩偏差的問題最早在印刷前作業數位化的過程中被嘗試解決，數位化印前作業中的領導廠商 Adobe 公司首先於 1990 年在其專利技術 Postscript level 2 中加入對各個影像輸出入裝置的特性描述，使得印刷成品的色彩可與原稿及電腦顯示一致。而隨著數位影像與多媒體的快速發展，色彩一致性的問題從專業印刷的領域漸漸延伸一般的個人電腦多媒體應用。在 1994 年由 Adobe, Agfa, Apple, Kodak, Microsoft, Sun 六家公司發起 International Color Consortium (ICC)，ICC 組織制定 ICC Colors Profile 的檔案格式，用來描述各影像輸出入裝置的色彩轉換特性，可適用在顯示器、掃描器、數位相機、印表機等影像輸出入裝置。目前最新的 ICC 規範是在 2001 年 12 月修訂的 4.0 版。而 Microsoft 與 Apple 兩大主要個人電腦的作業系統中都以內建 ICC 格式檔的功能。影像輸出入設備的廠商只要提供其 ICC 檔在作業系統中套用。就可以使用色彩在不同裝置轉換間的偏差降到最小。不過，由於不同裝置可以表現的色域 (gamut) 不同，在各裝置色域外的色彩，只能以最接近的色彩來代替，而如何製作廣色域的影像輸出入裝置，不同裝置有不同的技術瓶頸，也是相關廠商的重要研究方向。

隨著網路的發展，Web 瀏覽的盛行，在網路傳輸中，影像色彩的一致性也成為重要的課題，雖然前述的 ICC 格式可以解決基本輸出入色偏的問題，但是影像傳遞 ICC 檔描述的是影像輸入裝置的完整色彩空間與轉換特性，這樣的資料如果必須附在每一個網路傳輸的影像檔上，會造成太大的額外資料量，而減低其通用性。因此 W3 標準組織在 1996 年，提出另一較簡化的方法，將所有的影像顏色轉至一標準定義的 standard RGB

(sRGB) 色彩空間，再進行傳輸，如此就可減少資料的附加並一樣可解決色偏的問題。使得不同顯示裝置可以透過網路看到接近原色彩的影像。網路寬頻的普及，與數位電視的發展，網路的應用也將由靜態影像的傳輸漸漸到大頻寬動態影像的傳輸，動態影像的傳輸如何能在最少的頻寬的限制下，傳輸清晰並無色偏的影像，也是業界研究的重點之一。

九、顯微術

光學顯微術的發展已有極漫長的歷史，並且已證明是促成許多領域革命性進展所不可或缺的工具。共焦顯微，多光子激發及逆卷積(deconvolution)運算等方法已廣泛應用於 3D 顯微結構的研究上，這包含如生物，醫藥及材料科學等領域。在生物醫學樣品的觀測上，一味提高空間解析度往往無助於問題的解決。能觀測到決定性的訊號或對比才是關鍵。此外能看到活培養體成組織的新陳代謝或演進亦是極重要的一件事；相形之下，活體的觀測在電顯下極為困難，而掃針式顯微鏡因限於取像速度，目前的應用則較偏向材料科學。近十餘年來光學顯微技術則隨著光電科技的發展而展現全新面貌，這些科技包含如：

1. 超短脈衝雷射(ultrafast laser)。
2. 奈米級精密掃描器及平台(nanometric precision scanners and stages)。
3. 極高靈敏度光偵測器(highly sensitive photo-detectors)。
4. 即時全彩數位影像處理(digital image processing for 3D real-time full color digital movies)等。

(一) 重點研究

讓非線性顯微光學包含多光子激發螢光顯微、時序顯微光譜、二倍頻及同調 anti-Stokes Raman Scattering 對比等成像技術得以實現。此外，高解析顯微技術如近場掃描光學顯微， 4π 全角共焦顯微，及同調顯微探測等，亦大幅提昇了顯微術的解析度與對比。這些科技使影像建構在新的對比機制上，並可分辨分子組成，讓可觀察到的資訊已遠超過傳統的光學顯微術，已能探測生物學領域中分子層次的資訊。3D 影像分析及顯示，則在隨後的數據處理中扮演極關鍵性的因素。

(二) 前瞻研究

先進光學顯微術幾項值得注意的發展：

非線性光學對比：

除了雙光子螢光外，非線性訊號如 SHG, THG 等，亦可用於成像。由於高性能的超快雷射已相當成熟，利用這些訊號取得清晰的影像，已不是問題。詮釋並有效利用這些訊號產生的對比於高價值的目標，方能彰顯非線性光學顯微術的意義。另一方面 Sunny Xie, M. Muller 和 Hashimoto 等人亦發展了以 Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) 為對比機制 (Zumbusch, 1999; Cheng, 2001; Volkmer, 2001)，利用樣品分子中自然具備的振動光譜以為顯微成像。這使顯微術具化學鑑別力而不須使用染料。

時間解析的螢光量測：

被激發的分子會在一定的時間內放出光子並回到基態，並呈現隨時間以指數關係下降的螢光強度。對大部分的螢光分子而言，螢光半衰期約在數個奈秒之間 (nanosecond)，若是較長則稱為延遲螢光，更長的則叫磷光 (phosphorescence)。

配以適當的量測系統與軟體，共焦影像可由螢光分子的半衰期長短成像，而非以螢光的強度成像。

利用螢光半衰期成像有如下幾個特點，這些特點來自染料分子的特性，並反應在半衰期的長短，且與照射的強度無關。光漂白與吸收等效應也不致於影響半衰期的量測。

1. 半衰期長短反應的是分子的化學資訊，包括激發態的衰變時間，吸收與放射的截面，這些資訊顯現分子的動態和能量轉移。
2. 半衰期的量測可用以鑑別具相同波長但不同螢光半衰期的螢光分子。
3. 螢光半衰期可被下列因素影響：離子濃度如 pH , Ca^{2+} , Na^{+} 等，因此也可用於離子濃度的量測。

半衰期的量測，可於時間域 (time domain) 或頻譜域 (frequency domain) 為之。在時域的量測可用 time-gated 偵測的方式為之，或是以 Time-correlated 光子計數的方法。而在頻譜域的量測，可用調變的方式量測螢光訊號的相位差。

未來堪與共焦顯微術匹敵的技術：結構化照明顯微術(Structured Illumination)：

Abbe 繞射極限是在”單面”照光下的遠場繞射條件所計算的；如果改變照明條件，則有可能”突破”既有的繞射極限。近場光學顯微即是縮短光源與樣品之距離至小於光波波長而達成高於繞射極限的解析度。而 4π (Stefan Hell) 全立體角顯微術則藉光束在軸向的干涉而達成高解析度。結構化照明(Mats Gustafsson)則是改變照明的條件，以達成高至 $0.1\ \mu\text{m}$ 的解析度。這其中結構化照明尤其具有巨大之潛力，因它本質上是平行方式的影像擷取，這完全不同於點掃描式的取像方式。點掃描的方式極難達成高取像率。結構化照明速度極快，且可同時達成高於傳統繞射極限之 3D 解析度，並藉動態影像顯示在樣品中快速的反應與變化。預期在不久的未來，將有基於此原理，功能強大的新顯微鏡出現。

結合生物資訊學：

人類染色體(human genome)的解碼已進一步的促成細胞功能的了解。可預見地，蛋白質學(Proteinomics)將成為下一波研究的主題，這包括分析蛋白質和胜(peptide)在細胞層次複雜的交互作用。這樣的研究無疑需要強大功能的工具，而共焦顯微技術正是如此工具之一。藉著先進顯微技術和電腦科學的結合，利用影像分析和生物資訊學(Bio-informatics)，將能有效探索細胞和次細胞層次的現象與機制。影像分析可自眾多影像擷取”有用”的資訊，而生物資訊學的方法則可有效整理和整合龐大的資料。

正如同許多深具價值的技術或方法，共焦顯微鏡被普遍的接受與使用，反應了它的潛力與影響力。它已在許多領域證明其不可或缺的角色，特別在生物醫學的基礎研究上。隨著新的光學、光譜方法或物理機制的引用，可預見共焦顯微這類型的技術將有更進一步的發展與應用。

國際上發展光學顯微術與相關技術之學者(Note: The list is not inclusive.)

這些學者之相關著作如附件所示

Name	Address	Email	Comments
G.J. Brakenhoff	University of Amsterdam, Institute of Molecular Cell Biology, Kruislaan 316, Amsterdam, Netherlands, 1098 SM	brakenhoff@mc.bio.uva.nl	FOM 發起者 Nonlinear Optics Microscopy
J.J.M. Braat	Delft University of Technology Department of Applied Sciences Lorentzweg 1 NL 2628 CJ Delft The Netherlands	braat@optica.tn.tudelft.nl	CD 發明者之一
W.A. Carrington	University of Massachusetts Worcester Campus Department of Physiology 55 Lake Avenue North Worcester, MA 01655, USA	walter.carrington@umassme d.edu	Image processing
P.C. Cheng	Dept. of Electrical Engineering Buffalo University	elepcc@kimo.com.tw	Applications of Confocal Microscopy in Biology
C. Cogswell	Colorado University	cogswell@colorado.edu	SPIE Confocal related program organizer
G. Cox	Sydney University	guy@emu.usyd.edu.au	FOM 發起者之 一 Applications of Confocal Microscopy in Biology

J.C. Dainty	Imperial College Blackett Laboratory London SW7 2BZ UK	jcd@op.ph.ic.ac.uk	Optics Communications 主編之一
M. Gu	Swinburne University	mgu@groupwise@swin.edu.au	Imaging Theory
S.W. Hell	Max-Planck Institute	shell@gwdg.de	4Pi Confocal Microscopy
S. Inoué	Marine Biological Laboratory 7 MBL Street Woods Hole, MA 02543-1015, USA	jmacneil@mbl.edu	Polarization Microscopy 美國國家科學院 院士
R. Juškaitis	University of Oxford Department of Engineering Science Parks Rd Oxford OX1 3PJ UK	rimas.juskaitis@eng.ox.ac.uk	Precision Optics
A. Kriete	Institute of Anatomy and Cell Biology University of Giessen	Andres.kriete@anatomie.med.uni-giessen.de	Image processing
M. Müller	University of Amsterdam Institute for Molecular Cell Biology BioCentrum Amsterdam Kruislaan 316 1098 SM Amsterdam The Netherlands	muller@bio.uva.nl	CARS Microscopy

C.J.R. Sheppard	University of Sydney Department of Physical Optics School of Physics A28 NSW 2006 Australia	colin@physics.usyd.edu.au	Confocal Microscopy Pioneer ICO Chairman
M.G. Somekh	Optical Engineering Group University of Nottingham School of Electrical and Electronic Engineering University Park Nottigham NG2 7RD UK	mike.somekh@nottingham.a c.uk	Optics and Optical Microscopy
E.H.K. Stelzer	MBL-Heidelberg Light Microscopy Group Cell Biophysics Programme Meyerhofstrasse 1 D-69117 Heidelberg Germany	Ernst.Stelzer@EMBL-Heide lberg.de	Head of EMBL Light Microscopy Group Optical Force Microscopy
Peter Török	Dept. of Engineering Science Oxford University Oxford, UK	peter.torok@eng.ox.ac.uk	High NA Imaging Theory Precision Optics
M. Gustafsson	University of California, San Francisco Department of Biochemistry and Biophysics San Francisco, CA 94143-0448 USA	mats@msg.ucsf.edu	Super-resolution
S. Kawata	Osaka University Department of Applied Physics Suita	kawata@ap.eng.osaka-u.ac.j p	Optics Communications 主編之一

	Osaka 565-0871 Japan		
K. König	Institute of Anatomy II, Friedrich-Schiller University of Jena Teichgraben 7, Jena, 07743 Germany	kkoe@mti-n.mti.uni-jena.de	Biological Applications
M. Ohtsu	Tokyo Institute of Technology Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, 4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502, Japan	ohtsu@ae.titech.ac.jp	Near-field Optics
D.W. Piston	Vanderbilt University Department of Molecular Physiology and Biophysics 735 Light Hall 2201 West End Avenue Nashville, TN 37235 USA	dave.piston@mcmail.vander bilt.edu	Multi-photon microscopy
C. Saloma	National Institute of Physics University of Philippine Quezon City, 1101 Philippine	csaloma@nip.upd.edu.ph	Theoretical Optics Chairman of Philippine Physics Society
Y.R. Shen	University of California, Berkeley Department of Physics Berkeley, CA 94720-7300 USA	shenyr@physics.berkeley.ed u	Nonlinear Optics 美國國家科學院 & 中研院院士

T. Takamatsu	Kyoto Prefecture University of Medicine	Ttakam@basic.kpu-m.ac.jp	Real Time Confocal Microscopy
Yoshimasa Kawata	Dept. of Mechanical Engineering Shizuoka University Johoku, Hamamatsu Japan	kawata@eng.shizuoka.ac.jp	Real-time near-field microscopy
Tony Wilson	Dept. of Engineering Science Oxford University Oxford, UK	tony.wilson@eng.ox.ac.uk	Editor of Journal of Microscopy Confocal Microscopy Pioneer
S. Xie	Harvard University Department of Chemistry Cambridge, MA 02138, USA	xie@chemistry.harvard.edu	CARS Microscopy Single Molecule Detection

Photon. Technol. Lett., vol. 3, pp. 955-957, 1995.

[28] W.Sohler, "Erbium-doped waveguide amplifiers and lasers in LiNbO₃," *Opt. Soc. Am.*, vol. 7, pp.212-213, 1995.

[29] I. Baumann, R. Brinkmann, M. Dinand, W. Sohler, and S.Westenhofer, "Ti:Er:LiNbO₃ waveguide laser of optimized efficiency," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 32, pp.1695-1706, 1996.

顯微術相關之國際廠商：

在共焦顯微術發展之初，約有十餘家廠商競相發展。後因傳統之顯微鏡製造商掌握整合與通路之優勢，因此簡併成目前之六家主要廠商。

光學與共焦顯微鏡製造商

Bio-Rad Laboratories Inc.	http://www.discover.bio-rad.com
Leica Microsystems	http://www.confocal-microscopy.com
Nikon Corporation	http://www.nikon.com
Olympus Optical Co., Ltd.	http://www.olympus.com
Perkin-Elmer Life Sciences	http://lifesciences.perkinelmer.com
Zeiss Micro Systems	http://www.zeiss.com

其他顯微術相關技術廠商

Bitplane AG	http://www.bitplane.com
Chroma	http://www.chroma.com
Coherent Inc.	http://www.coherentinc.com
Gene Research Lab. Com. Ltd.	http://www.gene-rl.com
LaVision BioTec GmbH	http://www.lavisionbiotec.com
Media Cybernetics , Inc .	http://www.mediacy.com
Newport Corporation	http://www.newport.com
Resolution Sciences Corporation	http://www.resolve3d.com
Scientific Volume Imaging B.V.	http://www.svi.nl
Spectra-Physics Inc.	http://www.splasers.com

國內相關廠商：

技邦 Keybond Technology Inc.	http://www.keybond.com
國祥 Lin Trading Co. (Nikon)	http://www.lin.com.tw
美嘉 Major Instruments Co. (Leica)	http://www.major.com.tw
明美 Ming-Mei Technology Co., Ltd.	http://www.ming-mei.com.tw
沛進 Pacgen Biopharmaceuticals	http://www.pacgenbiopharm.com
泛泰 Pantech Co. (Bio-Rad)	http://www.pant.com.tw
實密 Schmidt Scientific Taiwan Ltd.	http://www.schmidt.com.tw
上儀 Superbin Company, Ltd.	http://www.superbin.com
台灣儀器 Taiwan Instrument Co. (Zeiss)	http://www.ticgroup.com.tw
先鋒 Titan Electro-Optics	http://www.teo.com.tw
Total-Integra Tech CO.,LTD	http://www.mgds.com.tw
元利 Yuan-Li Optical Co. (Olympus)	http://www.yuanli.com.tw

國內廠商在顯微術與相關技術的參與上，係以代理為主。在顯微鏡的製造與銷售上，目前為德商與日商均分市場。因市場的日趨飽和且利潤並不豐厚，如同汽車製造商，極難再容下新的競爭者。台灣的切入點應從加強應用的能力著手。目前台灣的電子，半導體與光電製造、代工業是最大的使用者，未來可期望生技產業或奈米科技相關產業亦成為主要使用者。

(三) 一般研究

目前在顯微領域中主要研究主題約有：

1. 光學理論與儀器學(Theory and Instrumentation)
2. 共焦顯微術，包含螢光與非螢光成像 (Confocal Microscopy, fluorescence and non-fluorescence)
3. 新穎顯微術光源(Novel light sources for microscopy)
4. 非可見光顯微術(Microscopy outside of Visible Range, such as IR, UV, and X-Ray microscopy)
5. 光譜解析顯微術(Spectrally resolved microscopy)
6. 4D 或多維活體細胞影像(4D or Multiple dimension imaging of living cells)
7. 鈣離子對比成像 Calcium Ratio Imaging

8. 多光子激發，含雙光子螢光顯微術(Multi-photon excitation, including two-photon fluorescence microscopy)
9. 非線性光學顯微術(Microscopy based on non-linear optics signals, such as CARS, SHG, THG)
10. 光漂白後之復原(Recovery after photobleaching, FRAP, FLIP)
11. 螢光能量轉移(Fluorescence energy transfer, FRET)
12. 時間解析的螢光成像(Fluorescence lifetime imaging, FLIM)
13. 時序影像(Time-resolved imaging)
14. 螢光蛋白成像(Fluorescence Protein Imaging, GFP, YFP, RFP, etc.)
15. 4D 及 3D 影像處理，虛擬實境(4D- and 3D-Image processing, Virtual Reality, VR)
16. 數位訊號處理，重建與分析(Digital Signal Processing, reconstruction and Analysis)
17. 雷射捕捉與鑷子，光子力顯微術(Laser Trapping and tweezers, Photonic Force Microscopy)
18. 干涉與相位成像(Interferometric and Phase Imaging)
19. 近場顯微光學(Near field microscopy)
20. 工業應用光蝕刻術(Industrial applications in lithography)
21. 3D 資料儲存與顯微製造(3D data storage and micro-fabrication)
22. 多重散射與混濁介質成像(Multiple scattering and imaging through turbid media)
23. 光學同調性顯微術(Optical coherence microscopy)
24. 超解析(Superresolution, 4μ , structured illumination)

上述主題之發展往往被歸類為先進光學(共焦)顯微鏡的發展。在歷經十餘年的發展後，全世界裝設的共焦顯微鏡已超過一萬台，並持續地快速增加中。共焦顯微鏡在許多應用上已成為一標準工具；正如同許多電子產品，目前市售的共焦顯微鏡不僅種類繁多，且演化速度極快，大體是朝更低廉，功能更強，使用者友善的方向演進。

國內的發展：

台灣對此一學門的介入最早源於 1992 年左右，係以購買整套之共焦顯微設備的方式為之。但因受限於當時個人電腦的性能與光電人才的缺乏，成效頗受限制。國內所有的共焦顯微鏡據估計已逾五十台；眾多單位

並已開始使用具備雙光子激發功能的機台。不過共焦顯微鏡即使在單純的使用狀況下，也包含光源的調整、光學系統的校正和基本的影像處理。為能充份發揮系統的功能，操作人員的教育訓練極為重要。而相關的基本光學、光電的知識與技巧往往是生命科學研究人員較為需要的。若能加強系統的維護與跨領域的訓練，當更能發揮這些設備的功效。加速資訊的流通與人員的訓練當是目前台灣在應用先進光學顯微術上，花費較低且可收立竿見影之效的做法，這可藉定期舉辦 workshop 行之。

較之國際上著名之研究群，整體而言，國內研究與應用先進光學顯微鏡的層次仍在急起直追的階段。藉加強實質之國際合作，則可有效刺激與發展國內之水準。

國內學術界涉獵顯微術發展的主持人如下表所示：

李世光	台大應力所	MEMS, phase sensitive microscopy
孫啟光	台大光電所	多光子共焦顯微術
蔡定平	台大物理系	近場, SPR 超解析
董成淵	台大物理系	多光子共焦顯微術
周晟	陽明放射系	Microscopy through turbid media
林奇宏	陽明微免所	共焦顯微術、Laser tweezers
邱爾德	東華電機系	Laser tweezers and trap
汪治平	中研院原分所	Differential microscopy
范文祥	中研院原分所	近場顯微鏡
魏培坤	中研院原分所	近場顯微鏡
李超煌	中研院應科所	超解析、Differential microscopy
潘犀靈	交大光電所	近場顯微鏡
高甫仁	中山物理系	多光子共焦顯微術

十、參考文獻

光電系統設計

- [1] *Technical Program and Summary Digest of Electronic Imaging 2002*, IS&T/SPIE's 14th Annual Symposium, 20-25 January 2002

- [2] *Technical Program and Summary Digest of Electronic Imaging 2001*, IS&T/SPIE's 13th Annual Symposium, 21-26 January 2001
- [3] *Technical Program and Summary Digest of Electronic Imaging 2000*, IS&T/SPIE's 12th Annual Symposium, 23-28 January 2000
- [4] S. A. Benton (Editor), "Selected Papers on Three-Dimensional Displays," SPIE Milestone Series, Vol MS 162
- [5] 工業技術人才培訓講義"立體影像顯示光學技術專題", 經濟部工業局&工研院光電所主辦, 5-6月, 2002
- [6] "2000年我國光電產業概況" 光電科技工業協進會, 2001
- [7] "光電—Mega Trend 2025, 21世紀科技趨勢報告" 陳秋燕著

微光學元件設計

- [8] 以"微光學元件"、"photonic crystal"、及"micro optics"為關鍵字, 網路資料搜尋結果。
- [9] R. Magnusson and M. T. Gale, "Diffractive optics and micro-optics: Introduction to the feature issue," *Appl. Opt.*, Vol. 40, No. 32, pp. 5817-5818, 2001.
- [10] J. N. Mait and H. P. Herzig, "Diffractive optics and micro-optics," *JOSA A*, Vol. 18, No. 11, p. 2862, 2001.
- [11] J. N. Mait and H. P. Herzig, "Diffractive optics and micro-optics: Introduction to the feature issue," *Appl. Opt.*, Vol. 38, No. 14, pp. 2977-2978, 1999.
- [12] J. A. Cox, M. G. Moharam, H. P. Herzig, and J. N. Mait, "Diffractive optics and micro-optics: Modeling, design, fabrication, and applications," *JOSA A*, Vol. 16, No. 5, pp. 1093-1094, 1999.
- [13] J. Jahns, J. A. Cox, and M. G. Moharam, "Diffractive optics and micro-optics: Introduction to the feature issue," *Appl. Opt.*, Vol. 36, No. 20, p. 4633, 1997.
H. P. Herzig, Ed., *Micro-Optics: Elements, Systems and Applications*, Taylor & Francis, May 1997.

光學鍍膜

- [14] 李正中，”薄膜光學與鍍膜技術”，藝軒出版社，2002.
- [15] 張煥宗，曾肇龍，”光學偵測法於生物感測器之應用”，光訊，第八十九期，民國九十年，pp.1-5.
- [16] 光電科技工業協進會，2001 年我國光電產業概況。

光學元件

- [17] 經濟部技術處，“經濟部產業技術發展策略規劃報書”，經濟部
- [18] 光電科技工業協進會，2000 年我國光電產業概況。

紅外線工程

- [19] Richard D. Hudson, JR., *Infrared System Engineering*, John Wiley & Sons, New York.
- [20] 光電科技工業協進會，2000 年我國光電產業概況。

色彩學及其應用

- [21] *Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Applications VII*, SPIE Proceedings, Vol. 4663, January 2002.
- [22] Y. Yeh, L. Silverstein, “Limits of Fusion and Depth Judgment in Stereoscopic Color Displays,” *Human Factors*, 32(1), pp. 45-60 (1990).
- [23] Chao-Hsu Tsai, Kuo-Chung Huang, Kuen Lee, Wen-Jean Hsueh "Fabricating microretarder by CO2 laser heating process," *Optical Engineering*, Vol.40-11, Dec. 2001.
- [24] Chao-Hsu Tsai, Kuen Lee, Wen-Jean Hsueh , C.K. Lee “Flat-panel autostereoscopic display,” *Proc. of the SPIE: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems V*, Jan, 2001.
- [25] Kuo-Chung Huang, J.C. Yuan, Chao-Hsu Tsai, Wen-Jean Hsueh “Study of factors affecting stereopsis in stereoscopic display,” *3D Image Conference Japan*, Jul, 2001.
- [26] Charles Poynton, “A Guided Tour of Color Space “, *Proceedings of the SMPTE Advanced Television and Electronic Imaging Conference, San*

Francisco, Feb. 1995.

- [27] C.K. Lee, Jeremy W.J. Wu, S.L. Yeh, C.W. Tu, Y.A. Han, Eric H.Z. Liao, I.E. Tsai, S.H. Lin, Jeffrey C.T. Hsieh, and Julie T. Lee, "Optical Configuration and Color Representation Range of a Variable Pitch Dot Matrix Holographic Printer," *J. Applied Optics*, Vol. 39, No. 1, pp. 40-53 , January 1, 2000.
- [28] Eric Hong-Zong Liao¹, Linus Ying-Yueh Chang², I-En Tsai²
- [29] Hsiu-Hung Lin², Jeffrey Chi-Tang Hsieh², Julie Tsai-Wei Lee²
- [30] International Color Consortium, *Specification ICC.1:2001-12: File Format for Color Profiles* (Version 4.0.0), December 2001.(http://www.color.org/ICC-1_2001-12.PDF)
- [31] M. Stokes, M. Anderson, S. Chandrasekar, and R. Motta, "A Standard Default color Space for the Internet, version 1.10", 5 November 1996. (<http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB>)

柒、生醫光電

蘇炎坤教授

鄭國順教授

一、前言

光電產業蓬勃發展，光電各種領域，如光纖與波導光學、光電元件與模組、量子電子與雷射科技、資訊光學及各種光學工程，這些光電科技可以廣泛應用於民生、資訊、通訊、藝術，近年來光電科技亦逐漸應用於生物工程及醫學工程，形成所謂的生醫光電領域，包括利用光電科技分析細胞與組織，分析生物晶片，分析血液成份的變化。利用穿透散射光分析生活動的偵測與作用力變化的測量。而在醫學工程的應用，如雷射刀應用於細微組織的手術，近視度數的降低或消除，雷射去除斑紋美容，以及人工電子眼，利用雷射誘發組織螢光診斷技術等，愈來愈多，研究層次亦漸深入，因此生醫光電領域為一極重要且有潛力的光電應用領域。

目前在國內生醫光電領域之研究及應用仍在萌芽階段，因為生醫光電係結合光電、電子、資訊、基礎醫學、生醫技術及生醫材料等之高科技，有待國內結合各方面人才積極推動及研究。

二、重點研究

(一) 生物工程與應用

1. 雷射誘發組織螢光診斷技術—

利用紫外光或其他光源誘發人體組織並量測所產生之螢光訊號，以取得人體組織型態學方面的資訊，以觀察組織的變化。

2. 雷射於癌症診斷應用—

人體組織在癌化過程中，會產生結構上的變化，例如細胞將變得較密集，結締組織膠原蛋白組織將減少。癌細胞代謝較正常細胞快，NADH 將增多，因此利用雷射光源照射，癌症組織的螢光光譜與正常組織有所不同，在螢光光譜波峰位置與強度消長將有明顯區別。

3. 細胞與組織的影像系統—

利用有機發光二極體 (OLED) 及一般半導體發光二極體，先經過光學系統或光學工程，照射於生物晶片或血液、細胞及組織等，配合數位影像處理 (DSP) 及資訊光學，以觀察細胞及組織的特性。

4. 雷射光鉗技術在生物作用力的研究—

在 1970 年代有人提出利用光壓 (Optical pressure) 操弄微小粒子的概念，由兩道相向的雷射光加以適度聚焦，利用相反方向的光壓構成一個穩定能量阱，建立第一套利用光壓操弄微小粒子的工具。1980 年代初期，第一部光鑷子 (Optical tweezers) 建立，因此光鑷子的正式名稱為「單束光梯度力阱 (Single-beam optical gradient force trap)」，可以用來抓取並移動由數十奈米到數十微奈米的微小粒子。利用光鉗技術可以研究微管 (microtubule) 的動力問題，亦可研究 motor 蛋白的運動行為及特性。由此技術亦可間接阻止細胞分裂時染色體的分離，彎曲某些長鏈狀生物分子等。

(二) 生醫工程與應用

1. 雷射刀於手術之應用—

雷射束由於面積較小，能量集中，因此可作微小組織的手術運用，既安全又可縮短時間，降低手術所造成的危險風險。目前國內雷射刀手術大部份集中在各醫學中心主導。目前國內已有量產視網膜醫療雷射機，可以治療白內障化病，並可適度調整近視眼度數。

2. 細外線 (或其它光源) 耳溫槍應用—

目前較常用的居家體溫計主要有兩種，即紅外線耳溫槍與數位式體溫計。紅外線耳溫槍在測溫的準確度上雖略遜於數位式體溫計，但因為與身體的接觸面較少，再次使用時的衛生疑慮亦少，因此相當受到消費者青睞。因此如何利用感測元件來作為耳溫槍為未來研究上的課題，可以避免自國外廠商採購感測元件及紅外線耳溫槍。

3. 雷射於各種癌症的診斷及治療—

癌症已是國內十大死亡原因之首，如何利用雷射光源加上光電量測技術，可以診斷各種癌症組織作診斷研究其變化及差異性，並進而利用各種雷射光源作為治療，可以減輕或降低癌症細胞的擴散或蔓延。

4. 人工電子眼研究—

人工電子眼係利用植入眼球內的小 CCD 將外界投入於其上的影像轉換成電流，在其相對感應的視網膜上藉微小的電極作電刺激。對於盲者其造成失明的原因可能有多種，若祇是視神經或視覺大腦的問題所造成的失明，則可能較為複雜。若適當植入一個點電極於動物的視網膜上，藉著施予合適的電刺激訊號，以觀察其視覺誘發電位而找出電刺激訊號的臨界值。如何適度植入於眼內的人工材料，譬如人工水晶體，人工玻璃體等都可以積極加以研究。

5. 利用光化學及光動態 (photodynamic) 於醫療上的應用—

利用光照射所產生的化學變化或者光源本身的動態特性以作為醫療診斷的應用，不論是定性或定量的變化，均有助於醫療診斷。

三、國內研究現況

國內有關生醫光電目前仍祇在大學內研究，且研究團隊並不多。陽明大學醫工所、微免所與交通大學及台北榮總眼科及外科部有學術上的研究。台灣大學醫學院與附設醫院有進行雷射手術及診斷之研究，成功大學醫學院結合醫院、醫工所及資訊所亦有作生物光電及生醫光電之研究。但計畫件數及經費都相對偏低，主要原因有下列四個：

- (一) 國內醫界多數走臨床路線，投入學術研究者相對減少。
- (二) 國內教學中心或大小醫療診斷就診人數滿載，無暇研究進修，尤其是跨領域之研究。
- (三) 醫療需經多年動物或活體試驗，方可運用在人體上。在無更強的誘因下，醫術人員對生醫光電研究興趣不高。
- (四) 生醫光電必需結合光電、電子、材料、資訊及醫生作跨領域之研究，整合不容易。此外，國內亦無大型生醫光電公司從事相關研究。大部份由國外進口，而國內廠商祇負責代理銷售。

四、參考文獻

- [1] L. Friedman, "Electron phonon interaction in organic molecular crystals," *Phys. Rev.*, vol. 140, pp. A1649-1656, 1965.
- [2] C. W. Tang and S. A. Vanslyke, "Organic electroluminescent diodes," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 51, pp.913-915, 1987.
- [3] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay,

參、光電子材料元件與模組

鄭木海教授、許渭州教授、林浩雄教授
吳孟奇教授、李三良教授、吳忠幟教授
蔡宗祐教授、羅裕龍教授、葉文昌教授

第一部分 雷射

一、前言

近幾年來，在雷射二極體的發展上以面射型雷射二極體 (Vertical-cavity surface-emitting lasers, VCSEL) 取代了傳統之邊射型雷射二極體。相較於邊射型雷射二極體而言，面射型雷射二極體在光通訊、雷射印表機、及光開關的應用上均存在著無窮的潛力。以光通信方面而言；一般所使用到的波段大抵在 1.3 及 1.55 μm 。1.3 μm 波段之色散較 1.55 μm 波段為低，然則在功率的損耗上卻較 1.55 μm 之波段為烈，所以，1.3 μm 波段之雷射大多應用於短距離之傳輸。反之，1.55 μm 波段之雷射則有較低之功率損耗，然卻有較嚴重的色散。所以多應用在長距離的傳輸上。然而，嚴重的色散會導致傳輸的失誤，對此，絕大部份面射型之雷射多聚焦在 1.55 μm 的波段，因為，面射型雷射與分佈回授型雷射一般有著波段選擇的特性。這可使原本在邊射型之費比-白洛雷射之多模輸出經波長選擇而轉化為單模輸出。然而，相對於固態雷射或氣體雷射而言，半導體雷射仍存在較大線寬 (linewidth) 的缺點。因此為提高半導體雷射之競爭力，1.3 與 1.55 μm 之雷射均應朝向面射型結構發展。就發展之材料來看，砷化鎵相關之面射型之雷射多集中在 0.8 至 1.0 μm 之波段；至於在 1.3 至 1.6 μm 之波段則磷化銦材料應是不錯的選擇。然而一個現存的問題-無法找到較低對數與較高反射率之反射鏡，對面射型雷射而言，這是一個相當嚴重的問題。因此，有文獻研究以砷化鎵材料為主之磷氮化銦鎵來製做 1.3 μm 面射型雷射以改善磷化銦材料需高對數反射鏡之缺點。然而，因材料的不穩定以及波長無法上拉至 1.3 μm ，這使得磷氮化銦鎵量子井之面射型雷射的發展受到影響。對此，長波長之面射型雷射均以磷化銦之材料為主。此外，傳統之面射型雷射結構主要分為四種型態；分別為：Etched mesa、Proton implanted、Dielectric apertured、及 Buried heterostructure 四種。這四種結構以最後一種難度

- R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, "Light emitting diodes based on conjugated polymers," *Nature.*, vol. 347, pp. 539-541, 1990.
- [4] D. Braun and A. J. Heeger, "Visible light emission from semiconducting polymer diodes," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 58, pp. 1982-1984, 1991.
- [5] J. Kido, K. Hongawa, K. Okuyama, and K. Nagai, "Bright blue electroluminescence from poly(N-vinylcarbazole)," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 63, pp. 2627-2629, 1993.
- [6] P. E. Burrows and S. R. Forrest, "Electroluminescence from trap-limited current transport in vacuum deposited organic light emitting devices," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 64, pp. 2285-2287, 1993.
- [7] A. Wu and M. Kakimoto, "LED's based on poly(p-phenylenevinylene) and polyimide LB films," *Adv. Mater.*, vol. 7, pp. 812-814, 1995.
- [8] Z. Shen, P. E. Burrows, V. Bulovic, D. Z. Garbuzov, D. M. Mc Carty, M. E. Thomson, and S. R. Forrest, "Temperature dependence of current transport and electroluminescence in vacuum deposited organic light emitting device," *jpn. J. Appl. Phys.*, pt. 2, vol.35, pp. L401-404, 1996.
- [9] Z. C. Huang, C. R. Wie, I. Na, H. Luo, D. B. Mott, and P. K. Shu, "High performance ZnSe photoconductors," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 16, pp.1507-1508, 1996.
- [10] E. S. Kolb, R. A. Gaudiana, and P. G. Mehta, "A new polymeric triarylamine and its use as a charge transport layer for polymeric LEDs," *Macromolecules*, vol. 29, pp. 2359-2364, 1996.
- [11] F. Hide, P. Kozody, S. P. DenBaars, and A. J. Heeger, "White light from InGaN/conjugated polymer hybrid light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 70, pp. 2664-2666, 1997.
- [12] Q. Chen, J. W. Yang, A. Osinsky, S. Gangopadhyay, B. Lim, M.Z. Anwar, M. Asif Khan, D. Kuksenkov, and H. Temkin, "Schottky barrier detectors on GaN for visible-blind ultraviolet detection," *Appl. Phys.Lett.*, vol. 70, pp.2277-2279, April 1997.
- [13] J. Kido and T. Matsumoto, "Bright organic electroluminescent devices having a metal-doped electron-injecting layer," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, pp. 2866-2868, 1998.
- [14] H. Hong, W. A. Anderson, J. Haetty, E. H. Lee, H. C. Chang, M. H. Na, H. Luo, and A. Petrou, "Nitrogen ion implanted ZnSe/GaAs p-i-n photodectors," *J. Appl. Phys.*, vol. 84, no. 4, pp. 2328-2333, 1998.
- [15] C. S. Yang, D. Y. Hong, C. Y. Lin, W. C. Chou, and C. S. Ro, "Optical properties of the ZnSe_{1-x}Te_x epilayers grown by molecular beam epitaxy," *J. Appl. Phys.*, vol. 33, no. 5, pp. 2555-2559, 1998.

- [16] A. Souifi, R. Adhiri, R. Le Dantec, G. Guillot, P. Uusimaa, A. Rinta-Moykky, and M. Pessa, "ZnSe/GaAs band-alignment determination by deep level transient spectroscopy and photocurrent measurements," *J. Appl. Phys.*, vol. 85, no. 11, pp. 7759-7763, 1999.
- [17] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Lögdlund, and W. R. Salaneck, "Electroluminescence in conjugated polymers," *Nature*, vol. 397, pp. 121-128, 1999.
- [18] Z. B. Deng, X. M. Ding, S. T. Lee, and W. A. Grambling, "Enhanced brightness and efficiency in organic electroluminescent devices using SiO₂ buffer layers," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, pp. 2227-2229, 1999.
- [19] G. Parish, S. Keller, P. Kozodoy, J. A. Ibbetson, H. Marchand, P. T. Fini, S. B. Fleischer, S. P. DenBaars, and U. K. Mishra, "High-performance (Al,Ga)N-base solar-blind ultraviolet p-i-n detectors on laterally epitaxially overgrown GaN," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 75, pp. 247-249, July 1999.
- [20] E. Bellmann, S. E. Shaheen, R. H. Grubbs, S. R. Marder, B. Kippelen, and N. Peyghambarian, "Organic two-layer light-emitting diodes based on high-T_g hole-transporting polymers with different redox potentials," *Chem. Mater.*, vol. 11, pp. 399-407, 1999.
- [21] M. Redecker, D. D. C. Bradley, M. Inbasekaran, W. W. Wu, and E. P. Woo, "High mobility hole transport fluorene-triarylamine copolymers," *Adv. Mater.*, vol. 11, pp. 241-246, 1999.
- [22] F. Vigue, P. de Mierry, J. P. Faurie, E. Monroy, F. Calle, and E. Mufnoz, "High detectivity ZnSe-based Schottky barrier photodetectors for the blue and near-ultraviolet spectral range," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 9, pp. 826-827, 2000.
- [23] E. Monroy, F. Vigue, F. Calle, J. I. Lopez, E. Monuz, and J. P. Faurie, "Time response analysis of ZnSe-based Schottky barrier photodetectors," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 77, no. 17, pp. 2761-2763, 2000.
- [24] S. R. Forrest, "Active optoelectronics using thin-film organic semiconductors," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 6, pp. 1072-1083, 2000.
- [25] Y. Kim, J. G. Lee, K. Han, H. K. Hwang, D. K. Choi, Y. Y. Jung, J. H. Keum, S. Kim, S. S. Park, and W. B. Im, "Hole-transporting polyimide for organic electroluminescent display," *Thin Solid Films*, vol. 363, pp. 263-267, 2000.
- [26] Y.-F. Wang, T.-M. Chen, K. Okada, M. Uekawa, T. Nakaya, M. Kitamura, and H. Inoue, "Electroluminescent devices based on polymers forming

- hole-transporting layers.—II. Polyimides containing B-naphthyldiphenylamine units,” *J. Polym. Sci.: Part A: Polym. Chem.*, vol. 38, pp. 2032–2040, 2000.
- [27] C. H. Chen, S. J. Chang, Y. K. Su, G. C. Chi, C. A. Chang, J. K. sheu, and J. F. chen, “GaN metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetectors with transparent indium-tin-oxide Schottky contacts,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 13, pp.848-850, Aug. 2001.
- [28] J. K. Sheu, G. C. Chi, and M. J. Jou, “Low-operation voltage of InGaN/GaN light-emitting diodes by using a Mg-doped $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}/\text{GaN}$ superlattice,” *IEEE Electron. Device Lett.*, vol. 22, pp.160-162, Apr. 2001.
- [29] J. K. Mahon, “History and status of organic light emitting device(OLED) technology for vehicular applications,” in *SID 01 Dig.*, 2001, pp. 22–25.
- [30] Y. Kim, “Organic electroluminescent materials and devices,” *Kor. Inform. Display Soc.*, vol. 2, pp. 24–45, 2001.
- [31] Y. Kim, K. Han, and Y. Y. Jung, “Synthesis and characteristics of holetransporting polyimide for organic electroluminescent device,” *Macromolecules*, 2001, submitted for publication.

捌、研究計畫之申請、審查、執行與評估

每年國科會約在十二月初函請各大學申請專題研究計畫，截止收件日期通常在隔年一月底。研究計畫分為整合型和個別型兩類，整合型計畫除總計畫外，至少需有三個子計畫才能成立，但子計畫個數超過三分之一沒有通過時，則該整合型計畫亦無法成立，此時所有子計畫將全數併入個別型計畫考慮。每年計畫通過率約為 56~60%。計畫未獲通過時，得在規定時間內提出申覆，計畫申覆案係由複審委員開會決定是否成立。申覆理由主要有兩類：一是承辦人員作業疏失，另一是學理上觀點不同而有爭議。過去經常遇到的申覆案多半不屬於上述兩類，而是因為計畫書撰寫不詳細。但按照國科會規定：申覆補充說明不能超出原申請計畫的範圍，因此即使申覆時計畫主持人補充說明寫得很詳細，也已無濟於事，申覆案通常仍然不能成立。理由是國科會每年要處理非常多專題計畫申請案，專題計畫一旦核准，經費之分配也大致確定，不可能再作大幅度更動，因此計畫申請人須在申請計畫時就將計畫內容寫清楚，這也是計畫申請人應該做的事，而不是先試寫一個不詳細的計畫送審，等審查委員有負面意見時，再來提申覆案。

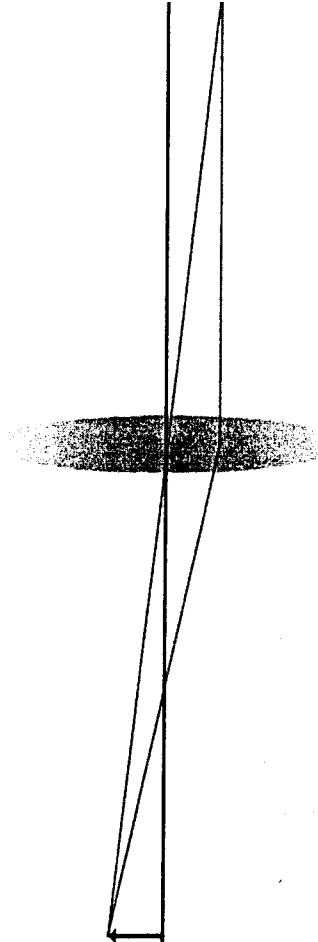
執行期限通常是每年八月一日至隔年七月三十一日止，必要時得申請延期，延期注意事項請參考相關規定。為減少計畫作業量，國科會亦鼓勵資深績優教授提多年期計畫，目前通常最多是三年。計畫執行期限屆滿須繳交一份四頁的計畫報告，經國科會彙整後，提供各界參考。多年期計畫則僅須繳交進度報告，作為撥付下一年度預核經費之依據。除此之外，根據規定：計畫成果仍須公開發表。因此每年都有學門成果發表會，為減少重複作業，並促進技術經驗交流，每年學門成果發表會都是與當年度的台灣光電科技研討會(Optics and Photonics Taiwan, 簡稱 OPT) 或國際光電子學研討會(International Photonics Conference, 簡稱 IPC) 合辦，計畫主持人若已在其他會議發表研究成果，仍須以壁報論文(Poster)形式在學門成果發表會發表其研究成果，詳情請洽學門承辦人員或當年度 OPT 或 IPC 的主辦單位。最近國科會工程處推動的小產學計畫，頗受學術界和業界歡迎，其成果則須繳交完整報告，而不同於上述四頁計畫報告。未能確實繳交報告者，國科會電腦都會有記錄，不能置之不理，以免影響以後申請計畫的權宜。本學門雖屬國家重點科技，但受限於各學門計畫通過率大約相同之慣例，每年還是會有許多教授無法順利申請到計畫，實有遺珠之憾，但亦愛莫能助。因此唯有大家踴躍提計畫，才能增加計畫核准的機會。

玖、結語

常聽說光電科技是一項整合型科技，其相關技術與應用範圍涵蓋甚廣，但因通常每個人只專注從事某一項特定研究題目，其實並不會特別感覺到光電科技的範圍有多大。當彙整各位教授寄來的稿件時，個人才真正深深體會到光電科技的範圍真是包羅萬象。每位主筆教授僅能就其較為熟悉的部分加以說明，不同領域的研究概況，很難敘述或評論。

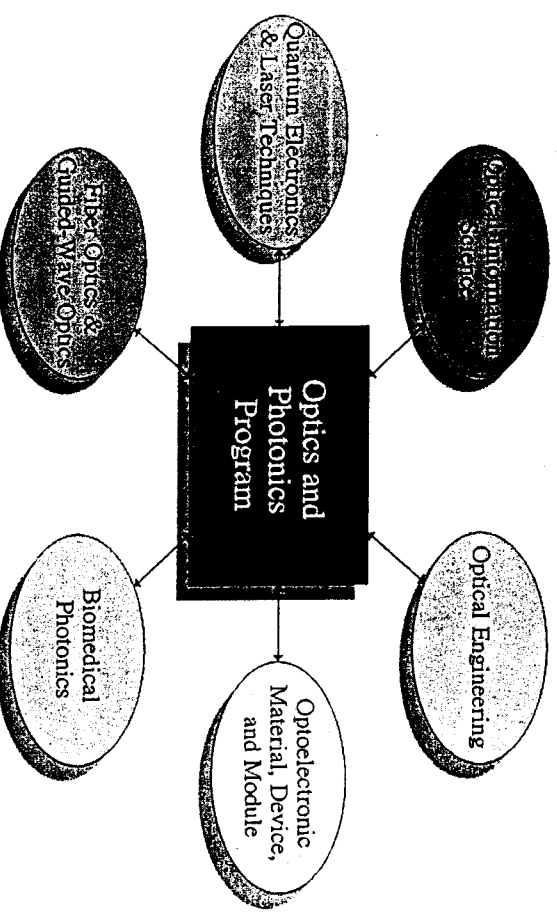
近年來國內提倡學術自由，而學術研究本來就是多樣化、自由化，以致於每位教授做事的風格也都不一樣。因此委請學者專家做事，基本上就很難強制規範，何況每位教授都有其既定的教學與研究工作，無法投入太多的時間撰稿。收到稿件時，發現各領域主筆教授所寫的字數、用的字型、和劃分的章節等都不完全一樣。學門承辦人員僅能就格式方面稍加整理；對於實質內容，則尊重原作者的意思，不便更改。但本規劃報告畢竟是國內光電界各位教授先進努力的成果，仍極具參考價值。希望未來國內光電科技研究能有較為一致的方向和較為集中的力量，以提升我國光電科技的水準。本規劃報告的委員和相關作者都在國內學術或研究單位，若對本規劃報告有任何問題可以就近直接詢問各委員或洽學門承辦人員。

由於所蒐集的資料相當繁瑣，校對疏漏之處在所難免，懇請見諒，並祈不吝指正，未來可以本規劃報告為藍本，逐年修訂，以臻完美，屆時希望大家能繼續惠予協助。



Optics and Photonics Program

Engineering and Applied Science Division



Optics and Photonics Program

Engineering and Applied Science Division

National Science Council (NSC)

Republic of China

106, Section 2, Ho-Pin East Road,

Taipei, Taiwan 106, Republic of China

Tel: +886-2-2737-7776

Fax: +886-2-2737-7673

<http://www.nsc.gov.tw/eng/>

National Science Council

Republic of China

I. INTRODUCTION

In 1982, photonics was identified by our government as one of the eight key enabling technologies vital to the sustained national development well into the 21st century. To establish the required technology base, training of students with graduate degrees in photonics and related sciences is essential. Graduate education in photonics was then growing rapidly in the past decade. During these years, lots of the programs and research activities are carried out successfully. A brief overview is described below for reference.

II. PHOTONICS EDUCATIONAL PROGRAM

The optics-and-photonics program (OPP) committee is one of the 18 academic committees of the Engineering and Applied Sciences Division of National Science Council (NSC). This committee has about seven members appointed by NSC. The committee members are representatives of six major universities, namely, National Taiwan University (NTU), National Chiao Tung University (NCTU), National Central University (NCU), National Cheng Kung University (NCKU), National Tsing Hua University (NTHU), and National Sun Yat-Sen University (NSYSU). The mission of OPP committee is to promote the photonics research in this country. The committee's routine work is to review all NSC sponsored proposals, research awards, etc. More importantly, the committee has to initiate some key research topics and promote

them by calling for proposals from all universities. To keep the committee active, the committee members are reviewed every year.

III. FUNDING FOR ACADEMIC RESEARCH

The number of projects, funds, professors, and students for research projects sponsored by this program in recent years are listed in Table I. As can be seen from the table, the fund per project is increasing each year in spite of the numbers of professors and students are also increasing as shown in Fig. 1. Besides the professors from graduate institutes of photonics, many professors of the physics, electrical engineering, and material science departments in a number of universities join OPP and conduct extensive research programs in photonics.

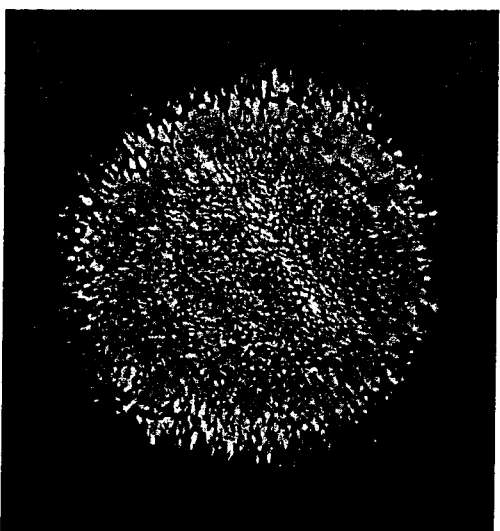


Table I Statistics of photonics projects sponsored by OPP

Year	Proj.	Fund (K\$)	Fund/Proj. (K\$)	Man Power					
				Full	Asso	Assi	PhD	MS	Total
1996	93	54,38	585	66	64		77	145	352
1997	101	63,91	633	70	85		79	139	373
1998	132	104,22	790	84	81	3	95	173	436
1999	136	135,26	995	112	75	10	119	207	523
2000(1)	125	130,79	1,046	105	68	21	109	207	510
2000(2)	136	132,96	978	122	73	18	134	249	596
2001	139	140,58	1,011	111	65	36	141	267	620

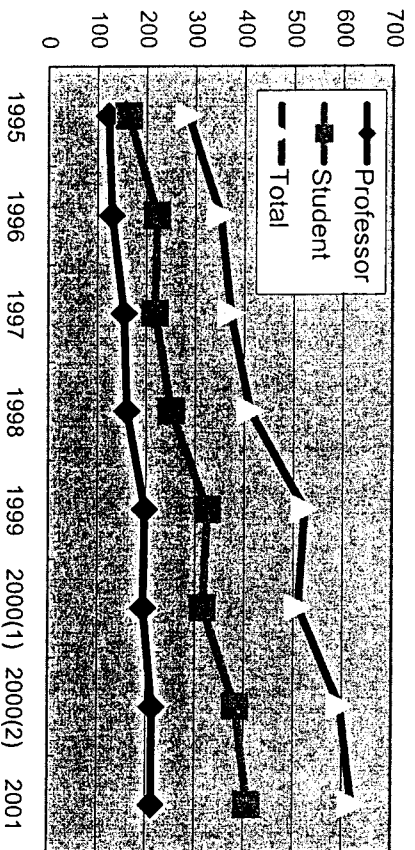


Fig. 1 Numbers of professors and students participated in the research projects sponsored by OPP

Currently, NSC provides about 90% of the research funding for the universities and colleges in Taiwan. The major funding agency for academic research in photonics is then NSC. However, most of the projects have been approved to the six major universities as shown in Fig. 2. Current research funding level is about 40 million US dollars each year. Most of these projects are free-style, i.e. the topics are selected by the principal investigators themselves. Fig. 3 illustrates a rough classification of these projects. As can be seen from the figure, approximately 63% of the projects are related to two major categories: first, fiber optics & guided-wave optics and second, optoelectronic material, device, and module. Based on national needs and recommendations of experts in the field, the program office can launch special programs designated to promote a specific topic. At the present time, the photonics program has one such initiative, i.e. dense wavelength division multiplexing. The funding is at the level of 1.2 million US dollars. Recently, a number of small-scale (under NT\$500,000) projects were co-sponsored by NSC and local industries to promote the joined research of universities and industries. It is expected that research programs sponsored by NSC will yield technological break through vital to the local industries.

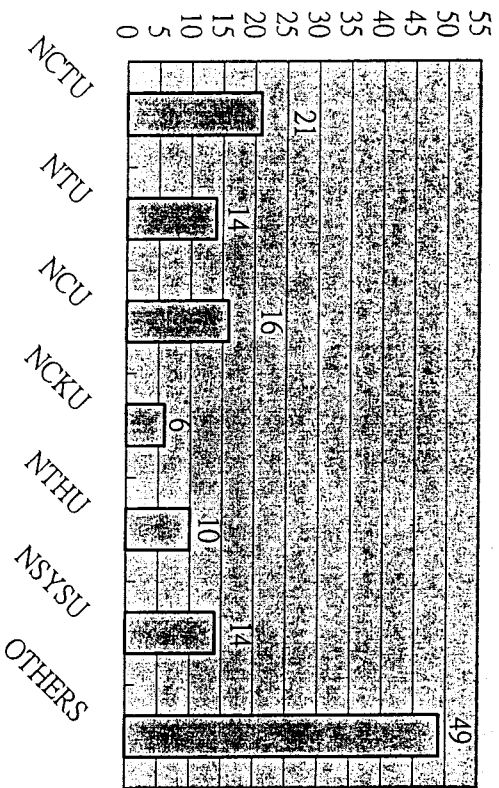


Fig. 2 Numbers of projects sponsored by OPP in six major universities

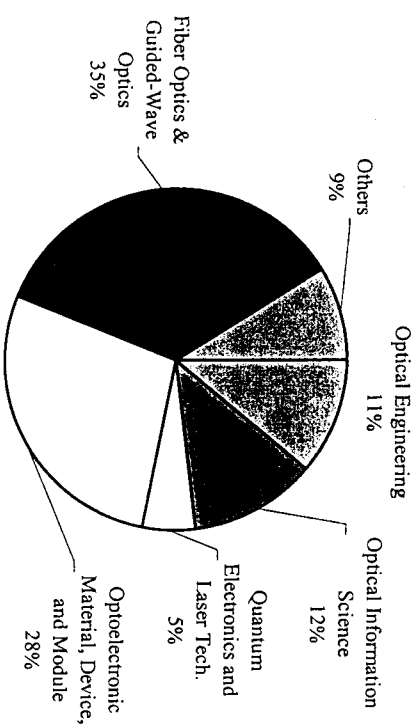
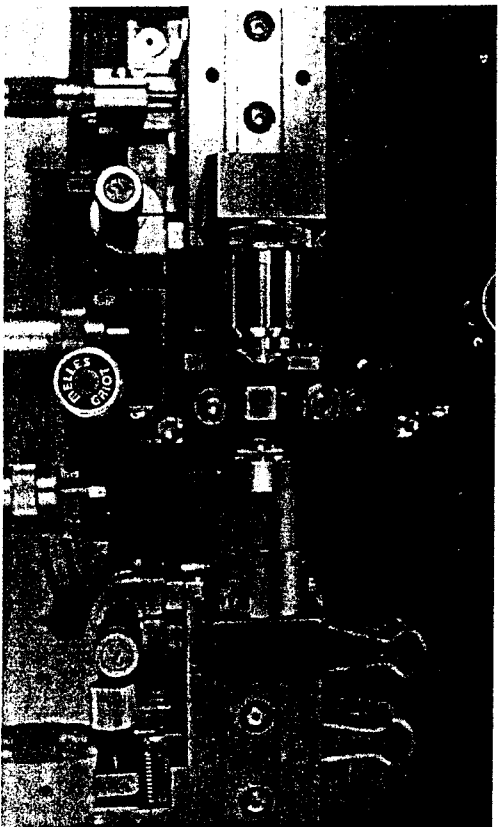


Fig. 3 Major categories of projects sponsored by OPP

IV. PROMOTION STRATEGIES AND EVALUATION OF COMPETITIVENESS

Each year, on the basis of peer review and recommendation of a review panel, NSC recognizes one (or two, sometimes) professor for important contributions in the field of photonics and presents the outstanding research award. Other means of evaluation of the principle investigators include annual progress report. In addition, they and their students and associates are encouraged to present

papers at the annual symposium, Optics and Photonics/Taiwan (OPT). This is a nation wide photonics conference sponsored by NSC and photonics-related societies such as the Optical Engineering Society of ROC, IEEE/LEOS Taipei Chapter, and the Taiwan Chapter of SPIE. OPT was a local conference, is now an international conference for every two years. When the conference becomes international, it is renamed as International Photonics Conference (IPC). The first such conference, 1998 International Photonics Conference (IPC'98), was held in Taipei. The attendees and papers presented in OPT and IPC in recent 6 years are listed in Table II. As students are usually encouraged to attend the conference without registration, the actual numbers of attendees are much more than those listed in the table.

NSC also monitored research indicators such as published papers listed in science citation index (SCI) and engineering index. The number of SCI listed papers published by principle investigators and the corresponding citations are summarized in Table III. Alternatively, the qualities of the papers published were evaluated by compiling those published in journals of the major societies such as IEEE and Optical Society of America as shown in Table IV. The total number of papers appearing in these journals increases from 88 in 2000 to 111 in 2001. The growth rate is about 26%, which is ranked number one among near-by countries as shown in the table. NSC also encourages technological transfers from NSC-sponsored projects to local industries. Several of these were located in the internationally well-known Hsinchu

Science-based Industrial Park. As a result, Taiwan is among the world leaders in several key photonics products such as light emitting diode, image scanners, and CD-ROMs.

V. SUMMARY

The photonics research programs established in the past decade have been shown to be very successful and prospective in Taiwan in recent years. Academically, several of these programs can now compete effectively with the leading universities in the world. The photonics research programs also provide advanced manpower for the rapidly developing local industries. We expect sustained growth of academic research in photonics in the future.

Table II Numbers of attendees and papers of conferences sponsored by OPP

Year	Attendee	Paper
OPT'97	471	206
IPC'98	524	260
OPT'99	749	328
IPC2000	673	276
OPT2001	660	352
OPT2002	906	465

較高，但最為有效率也較能滿足製作 OEIC 的需求。為改善這個結構磊晶的難度，我們提出較為簡單且頗為類似的結構我們稱為 Buried mesa structure (BMS)。

二、重點研究

(一) 1.3 與 1.55 μm 面射型雷射

在 M. Linnik 等人提出的論文[1]中已將 1.55 μm 之布拉格反射鏡 (DBR) 作一系列的探討與計算，其使用之 DBR 是以 AlGaInAs/InP 所組成其折射係數差值可達 0.46。以 AlGaInAs/InP 取代原本的 AlGaAsSb/AlAsSb 可以有效減少 DBR 的對數，並可提升整體反射率達 99.9%。其上方與下方之 DBR 的個數分別為 18 與 26 對，使用之元素組成為 InP 與 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.42}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 。文中所使用之多重量子井與摻磷氧化層分別為 GaInAsP 與 AlInAsP。這兩種材料均存在著磷元素，磷元素會因高溫的成長環境而產生脫出(out-gas)的現相，這會影響整個量子井與摻磷氧化層的組成。對此，我們提出以 AlGaInAs/AlGaInAs 應力補償形量子井來取代 GaInAsP/GaInAsP 量子井，AlGaInAs/AlGaInAs 應力補償形量子井來取代 GaInAsP/GaInAsP 量子井有幾個好處：第一、可免除 out-gas 的問題。第二、AlGaInAs/InP 之 Band offset 要較 GaInAsP 來的大，較大的 Band offset 可改善 Auger recombination 及 Intraband recombination。第三、因為 AlGaInAs/InP 有較 GaInAsP/InP 為高的 Band offset 所以可以有效的減少橫向的載子擴散，提供較高的光輸出功率。這可以有效解決在 1.3 μm 中所產生之高耗損功率的缺點。第四、相對於 GaInAsP/InP 系統而言，AlGaInAs/InP 系統有著較高的特徵溫度，高的特徵溫度可以有效地改善面射型雷射之溫度效應。另外，摻磷氧化層我們也改以 AlInAs 來取代 AlInAsP。以 AlInAs 取代 AlInAsP 除了可免除先前所提及之 out-gas 效應外，較高 Al 組成之 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{As}$ 可以決絕氧化速率過慢的問題。

(二) BMS 面射型雷射

埋藏式(BH)之面射型雷射有著較佳之效率及較易積體化之優點。但是在磊晶上有著一定的困難度。對此，我們提出 BMS 結構來簡化。BMS 與邊射型雷射中之 BRS 非常相似，其步驟大抵簡敘

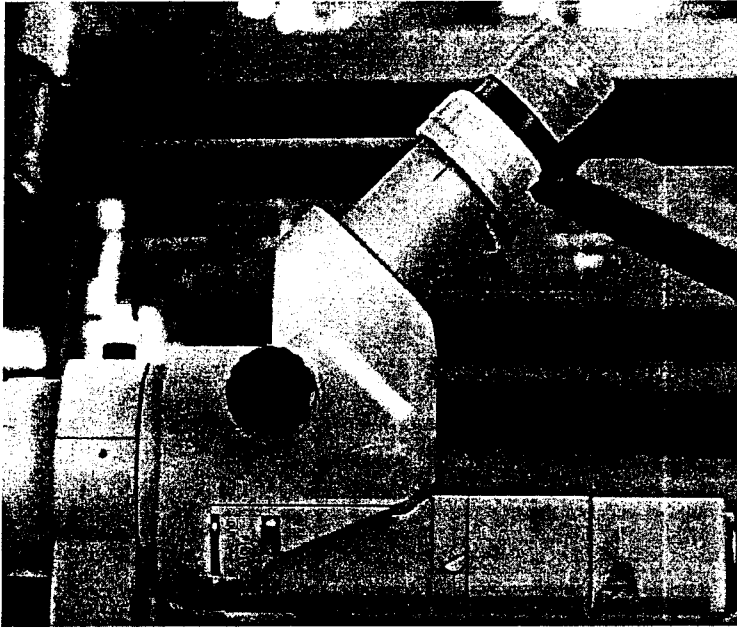


Table III Numbers of SCI papers and their citations generated by projects sponsored by OPP

Year	Paper	Citation
1998	256	868
1999	306	695
2000	322	533
2001	298	245
2002	249	N.A.

Table IV Comparison of the numbers of papers published in selected journals.

Journal	Area			Australia			Hong Kong			Japan			New Zea.			PRC			Singapore			S. Korea			Taiwan		
	00	01	02	00	01	02	00	01	02	00	01	02	00	01	02	00	01	02	00	01	02	00	01	02	00	01	02
APPLIED OPTICS (1.459)	24	9	12	6	5	4	77	82	75	9	4	6	37	47	35	14	10	2	12	13	23	11	18	15			
IEEE J. OF QUANTUM ELECTRON.(2.086)	7	9	3	0	4	0	17	25	31	0	0	0	3	19	2	1	3	2	5	6	6	6	9	3			
IEEE J. SEL. TOP. QUANTUM ELECTRON.(1.989)	3	2	3	6	4	0	26	26	22	0	0	0	7	4	0	1	0	2	1	0	8	3	1	4			
IEEE PHOTONICS TECHNOL. LETT. (2.004)	3	16	9	13	16	18	70	78	56	0	0	1	28	28	30	5	11	8	44	32	29	23	15	13			
J. OF LIGHTWAVE TECHNOL. (2.014)	5	5	5	6	1	3	38	48	28	0	0	0	10	10	5	3	4	2	5	8	3	8	19	6			
JOSA (A)(1.521)	18	14	5	0	4	1	9	25	16	2	2	5	7	17	8	0	1	1	3	3	2	3	3	1			
JOSA (B)(2.044)	10	13	13	2	6	4	24	23	17	1	0	2	24	25	23	0	2	0	5	7	4	7	9	6			
OPTICS COMMUN. (1.354)	19	20	14	15	7	13	56	56	35	9	6	5	96	95	115	6	10	8	18	21	18	44	21	13			
OPTICS LETTERS (3.195)	21	17	19	4	5	5	67	59	55	2	1	2	29	25	19	4	0	1	7	10	18	13	16	10			
TOTAL	110	105	83	52	52	48	384	422	335	23	13	21	241	270	237	34	41	26	100	100	111	88	111	71			

The numbers of papers are counted up to the end of October 2002.

如下：

1. 以 SiO_2 或 Si_3N_4 或 Cr 定義發光區域。
2. 以乾蝕刻方式進行 mesa 之蝕刻。
3. 以較低折射率且較大能隙之材料進行再成長(Regrowth)。
4. 將發光區域做自我對準(Self-align)。
5. 成長 ITO 及背面金屬。
6. 元件完成，並進行相關之量測。

由於以較低之介電常數作再成長，整體之電容值應可以有效地降低，對此，我們可以預估雷射二極體之頻寬應可大幅增加。

(三) 氮砷化銦鎵(GaInAsN)面射型雷射

1.3 μm 雷射大抵均著眼在磷化銦相關之材料，而砷化鎵相關之材料則無法踏入此一波段，然而，一個好的布拉格反射鏡的形成必需由兩種較大之折射率差的材料來形成。不幸的是，折射率差較大之材料多為砷化鎵相關材料，反觀磷化銦相關之材料其折射率差較大的材料除了 AlGaInAs 外則幾乎沒有。這使得有好的布拉格反射鏡之砷化鎵材料卻無法尋的適於 1.3 或 1.55 μm 通訊用波段之量子井。所幸，近來有理論提出以氮引入 InGaAs 中可有效的增加能帶的弓化，利用這樣的應力可將發光波段拉至 1.3 μm 。另外，由於氮原子的高陰電性可以有效的增加量子井導帶之能帶差。高的量子井導帶之能帶差可避免一些電子電動對於復合時所需避免的效應，例如：Auger 復合，Intraband 復合及電子或電洞的橫向擴散。基於這些優點，使得 GaInAsN 成為砷化鎵相關材料之研發主軸。

三、前瞻研究

(一) 光纖通訊系統

現今之光纖通訊系統有著幾個重要的發展方向：

1. 在計算及通訊系統上，其頻寬的要求乃以指數的形式成長。
2. 改善其在光纖通訊或積體化系統中單一元件的特性，包括動態與靜態的特性。
3. 進可能大幅降低光纖元件之價格。

以往之光纖通訊系統是以發光二極體(LED)做為信號光源，發

光二極體做為光源有幾個好處：第一、其價格較雷射二極體為便宜。第二、磊晶技術與製程較為簡單。但是相對地，一些在快速資料的傳輸問題亦運應而生。第一、其速度大抵在 622MHz/sec，這比雷射的 GHz/sec 要慢的許多。第二、由於為多重模態，所以在傳輸上會有較高的位元錯誤率(BER)。第三、其傳輸之距離亦較雷射二極體為短，所以僅能用於短距離之光纖通訊系統。

(二) 智慧型圖像顯示器(Smart pixels)

面射型雷射很適合運用在傳送資訊載子的功能，這是因為面射型雷射可以很容易地製作成二維空間之雷射陣列。二維的雷射陣列可以同時發出同調且平行於傳輸方向之雷射光，這使得面射型雷射有著製作大型看板或智慧型顯示器的潛力，而這個潛力卻是傳統邊射型雷射所無法具備的。此外，由於其二維的特性，面射型雷射可製做成積體化電路之光源。

四、一般研究

(一) 量子井之研究[4-5]

根據傳統之量子井理論，較大的導電帶與價電帶之不連續可有效的抑制載子的橫向擴散，進而減緩 Auger 復合效應，並降低起振電流及增加雷射之特徵溫度。相較於傳統磷化鎵銻/磷化銻材料系列，砷化鋁鎵銻/磷化銻有著較大的能帶阻斷差(band offset) ($\Delta E_c=0.72\Delta E_g$ for AlInGaAs and $\Delta E_c=0.35\Delta E_g$ for GaInAsP/InP) [2-3] 較大的能帶阻斷差可以有效得改善電流注入效應，增加雷射、光的輸出功率。

(二) 面射型雷射之種類[6]

一般將面射型雷射二極體分為四類：

1. Etched Mesa

這個結構之優點為簡單且容易製作。其缺點則是因為電流經過 DBR 所造成之串聯電壓致使熱發射(thermionic emission)發生改善的方法則是使用 Dielectric Apertured 或引入 intracavity contact layer。

2. Proton Implanted

這是屬於 gain-guide 的結構。因為這個結構很容易製作，所

以廣泛地應用在許多的面射型雷射中。此外，因為佈植 proton 所以可以免除串聯電壓的缺失。然而，其因為無介電層之引入，所以沒有 index guiding 之效應，這會使整個雷射在 CW 操做的情況下無法穩定其輸出模態。

3. Dielectric Apertured

其優點在於藉由氧化侷限層的引入可以有效地侷限電流的注入。如此，可以有效地降低起振電流並提昇其效率。

4. Buried Heterostructure

其優點在於可整合至積體電路中如：OEIC，此外其效率亦較上述三者來的高。然其磊晶不易，是這個結構的一項挑戰。

(三) 布拉格反射鏡

反射面，或者說是鏡面是一種廣泛應用的光學元件；它可用於成像、能量的匯聚，或是雷射共振腔中的反射鏡。尤其是在共振腔中，如 resonant-cavity photodetectors (RECAP's)、vertical resonant-cavity surface emitting lasers (VCSEL's) 等 DBR lasers，若有高反射率的反射面鏡，將會大大的提高它的效能。由半導體或者是介電材料構成的 Distributed Bragg Reflector (DBR) 可以針對不同的波長、頻寬、或是不同偏極化的光訊號設計成高反射或是完全透射的鏡面。又因為 DBR 有頻寬窄，對入射波長的選擇性高等特性，所以也常常被應用於 wavelength-division-multiplexing (WDM)。

多層反射的理論早在 1960 年就推導得很完整了，可以用 transfer-matrix method (TMM) 估計出反射的情形[7]。而近年來藉著 wafer-fusion 的技術發展，更多的研究者研發出各種不同材料、不同結構的 DBR，而大大的提高它的反射率。如 semiconductor/air Bragg reflector (SABAR)[8]。DBR 反射面鏡是一種週期性的結構，由兩種不同折射係數 n_2, n_3 的材料所構成，厚度各為四分之一入射波長除以折射係數。反射率及反射的頻寬主要與兩種折射係數的差、層數、入射角以及偏極化有關。由於入射角及偏極化可由應用的元件決定，所以在設計時考慮材料的特性。DBR 的反射可視為多層反射的結果；總反射率近似於每個介面反射的向量總和。反射量與折射係數的差有關，差越多反射越強；而相位與厚度有關。因此為了有較高的反射率，要使各個反

射量同相位，所以一般都設計成四分之一波長的 DBR。較精確的數值分析要解馬克威爾方程式，可參考[7]中詳細的推導。

五、參考文獻

- [1] M. Linnik and A. Christon, "Design and performance of a vertical cavity surface emitting laser based on III-V quaternary semiconductor alloys for operation at 1.55 μm ", IEEE Trans. on Electron. Device, vol. 48, pp. 2228-2237, 2001.
- [2] J. I. Davies, A. C. Marshall, P. T. Williams, M. D. Scott, and A. C. Carter, "AlGaInAs/InP double heterostructure lasers grown by low-pressure metal organic vapour-phase epitaxy for emission at 1300 nm", Electron. Lett., vol. 24, pp. 732-733, 1988.
- [3] C. E. Zah, R. B. Bhat, B. Pathak, F. Favire, W. Lin, M. C. Wang, N. C. Andreadakis, D. M. Hwang, M. A. Koza, T. P. Lee, Z. Wang, D. Darby, D. C. Flanders, and J. J. Hsieh, "High performance uncooled 1.3 μm Al_xGa_yIn_{1-x-y}As/InP strained-layer quantum well lasers for subscriber loop application", IEEE J. Quantum Electron., vol. 30, pp. 511-523, 1994.
- [4] L. A. Coldren and S. W. Corzine, in Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits, Chap. 2, Wiley, New York (1995).
- [5] L. P. Agrawal and N. K. Dutta, in Semiconductor Lasers, Chap. 2, Van nostrand Reinhold, New York (1993).
- [6] C. W. Wilmsen, H. Temkin, and L. A. Coldren, in Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers, Cambridge Press, United Kingdom (1999).
- [7] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, 3rd. ed. Oxford : Pergamon, 1965.
- [8] T. Mukaiyara, N. Yamanaka, N. Iwai, T. Ishikawa and A. Kasukawa: "1.3 μm GaInAsP lasers integrated with butt-coupled waveguide and high reflective semiconductor/air Bragg reflector (SABAR)" Electron. Lett., 1998, 34, pp.882-884
- [9] W. Shan, W. Walukiewicz, and J. W. Ager III, E. E. Haller, J. F. Geisz, D. J. Friedman, J. M. Olson, and S. R. Kurtz, "Band Anticrossing in GaInNAs Alloys", Phys Review Lett., vol. 82, pp. 1121-1224.
- [10] A.Y. Egorov, D. Bernklau, D. Livshit, V. Ustinov, Z. I. Alferow, and H. Riechert, "High power CW operation of InGaAsN lasers at 1.3 μm ",

- Electron. Letts. Vol. 35, pp. 1643-1644, 1999.
- [11] J. Z. Li, J. Y. Lin, and H. X. Jiang, J. F. Geisz and Sarah R. Kurtz, "Persistent photoconductivity in $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}_y\text{As}_{1-y}$ ", Appl. Phys. Letts. vol. 75, pp. 1899-1902, 1999.
- [12] X. Yang, J. B. Heroux, M. J. Jurkovic, and W. I. Wang, "Low-threshold 1.3- μm in GaAsN:Sb/GaAs single-quantum-well lasers grown by molecular beam epitaxy", IEEE Photon. Technol. Letts., vol. 12, pp. 128-130, 2000.
- [13] M. R. Gokhale, P. V. Studenkov, J. Wei, and S. R. Forrest, "Low-threshold current, high-efficiency 1.3- μm wavelength aluminum-free InGaAsN-based quantum-well lasers", IEEE Photon. Technol. Letts., vol. 12, pp. 131-133, 2000.
- [14] B.Q. Suna , D.S. Jianga, Z. Pan, L.H. Li, R.H. Wu, "Optical transitions and type-II band lineup of MBE-grown GaNAs/GaAs single-quantum-well structures", J. Crystal Growth, vol.227-228, pp. 501-505, 2001.
- [15] S. Shirakata, M. Kondow and T. Kitatani, "Photoluminescence and photoreflectance of GaInNAs single quantum wells", Appl. Phys. Letts. vol. 79, pp. 54-56,2001.
- [16] Wei Li, Jani Turpeinen, Petri Melanen, Pekka Savolainen, Petteri Uusimaa, and Markus Pessa, " Effects of rapid thermal annealing on strain-compensated GaInNAs/GaAsP quantum well structures and lasers", Appl. Phys. Letts. vol. 78, pp. 91-92,2001.
- [17] Z. Pan, L. H. Li, W. Zhang, Y. W. Lin, and R. H. Wu, "Kinetic modeling of N incorporation in GaInNAs growth by plasma-assisted molecular-beam epitaxy", Appl. Phys. Letts. vol. 77, pp. 214-216,2000.
- [18] M. Sopenen, H. P. Xin, and C. W. Tu, "Self-assembled GaInNAs quantum dots for 1.3 and 1.55 μm emission on GaAs", Appl. Phys. Letts. vol. 76, pp. 994-996,2000.
- [19] M. Hetterich and M. D. Dawson, A. Yu. Egorov, D. Bernklau, and H. Riechert, "Electronic states and band alignment in GaInNAs/GaAs quantum-well structures with low nitrogen content", Appl. Phys. Letts. vol. 76, pp. 1030-1032,2000.
- [20] N. Y. Li, C. P. Hains, K. Yang, J. Lu, J. Cheng, and P. W. Li, " Organometallic vapor phase epitaxy growth and optical characteristics of almost 1.2 μm GaInNAs three-quantum-well laser diodes", Appl. Phys.

- Letts. vol. 75, pp. 1051-1053,1999.
- [21] Z. Pan, L. H. Li, W. Zhang, Y. W. Lin, R. H. Wu, and W. Ge, "Effect of rapid thermal annealing on GaInNAs/GaAs quantum wells grown by plasma-assisted molecular-beam epitaxy", *Appl. Phys. Letts.* vol. 77, pp. 1280-1282,2000.
- [22] W. Shan, K. M. Yu, W. Walukiewicz, J. W. Ager III, and E. E. Haller, "Reduction of band-gap energy in GaNAs and AlGaNAs synthesized by N⁺ implantation", *Appl. Phys. Letts.* vol. 75, pp. 1410-1412,1999.
- [23] H. P. Xin, C. W. Tu, and M. Geva, "Annealing behavior of p-type Ga_{0.892}In_{0.108}N_xAs_{1-x} (0 ≤ x ≤ 0.024) grown by gas-source molecular beam epitaxy" *Appl. Phys. Letts.* vol. 75, pp. 1416-1418,1999.
- [24] M.-A. Pinault, and E. Tournie," On the origin of carrier localization in Ga_{1-x}In_xN_yAs_{1-y}/GaAs quantum well", *Appl. Phys. Letts.* vol. 78, pp. 1562-1564,2001.
- [25] H. P. Xin, K. L. Kavanagh, Z. Q. Zhu, and C. W. Tu, "Quantum dot-like behavior of GaInNAs in GaInNAs/GaAs quantum wells grown by gas-source molecular-beam epitaxy", *J. Vac. Sci. Technol. B.*, vol. 17, pp. 1649-1653, 1999.
- [26] H. P. Xin, C. W. Tu, and M. Geva, "Effects of hydrogen on doping of GaInNAs grown by gas-source molecular beam epitaxy", *J. Vac. Sci. Technol. B.*, vol. 18, pp. 1476-1479, 2000.
- [27] Z. Pan, T. Miyamoto, D. Schlenker, S. Sato, F. Koyama, and K. Iga, "Low temperature growth of GaInNAs/GaAs quantum wells by metalorganic chemical vapor deposition using tertiarybutylarsine", *J. Appl. Phys.*, vol. 84, pp. 6409-6411, 1998.
- [28] Z. Pan, L. H. Li, Y. W. Lin, B. Q. Sun, and D. S. Jiang, and W. K. Ge, "Conduction band offset and electron effective mass in GaInNAs/GaAs quantum-well structures with low nitrogen concentration", *Appl. Phys. Letts.* vol. 78, pp. 2217-2219,2001.
- [29] H. P. Xin, K. L. Kavanagh, Z. Q. Zhu, and C. W. Tu, "Observation of quantum dot-like behavior of GaInNAs in GaInNAs/GaAs quantum wells", *Appl. Phys. Letts.* vol. 74, pp. 2337-2339,1999.
- [30] A. Balcioglu, R. K. Ahrenkiel, and D. J. Friedman," Evidence of an oxygen recombination center in p⁺- n GaInNAs solar cells", *Appl. Phys. Letts.* vol.

76, pp. 2397-2399,2000.

- [31] H. P. Xin, and C. W. Tu, "GaInNAs/GaAs multiple quantum wells grown by gas-source molecular beam epitaxy", Appl. Phys. Letts. vol. 72, pp. 2442-2444,1998.
- [32] J. B. He'roux, X. Yang, and W. I. Wang, " GaInNAs resonant-cavity-enhanced photodetector operating at 1.3 μm ", Appl. Phys. Letts. vol. 75, pp. 2716-2718,1999.
- [33] W. Shan, W. Walukiewicz, J. W. Ager III, E. E. Haller, J. F. Geisz, D. J. Friedman, J. M. Olson, and S. R. Kurtz, "Band Anticrossing in GaInNAs Alloys", Phys. Review Letts., vol. 82, pp. 1221-1224, 1999.
- [34] I. Suemune, K. Uesugi, and W. Walukiewicz, "Role of nitrogen in the reduced temperature dependence of band-gap energy in GaNAs", Appl. Phys. Letts. vol. 77, pp.3021-3023 ,2000
- [35] B. Q. Sun, D. S. Jiang, Z. Pan, L. H. Li, and R. H. Wu, "Influence of dual incorporation of In and N on the luminescence of GaInNAs/GaAs single quantum wells", Appl. Phys. Letts. vol. 77, pp.4148-4150 ,2000
- [36] S. G. Spruytte, C. W. Coldren, and J. S. Harris, W. Wampler, P. Krispin and K.s Ploog, and M. C. Larson, "Incorporation of nitrogen in nitride-arsenides: Origin of improved luminescence efficiency after anneal", J. Appl. Phys., vol. 89, pp. 4401-4406, 2001.

第二部分 光檢測器

一、前言

過去二十年，由於矽石纖維在 1.3 -1.55 毫米或更長的波長中，在衰減和散溢方面可帶來好處，使得長波長光源和檢測器中有相當的進步。在檢測器方面，以 Ge 為基礎的元件或者未成熟的 AlGaAsSb/GaSb 磊晶技術及其製程都具有較大的漏電流和雜訊，使得 InGaAsP /InP 材料系統的重要性得以顯現。除了材料的考慮以外，P-I-N 結構光電二極體(PD)沒有內部雪崩增益(雪崩光電二極體)，而具有很高速操作的潛力和比金屬-半導體-金屬光電感測器更有效和更可靠的特性(Schottky 或 MSM PD)。因此，與高速的發展相應，大容量光纖光通訊系統中，以 InGaAs(P) 為基礎的 P-I-N 光電感測器的接收端不斷改進將是既定的方向。

二、一般研究

InGaAs(P) p-i-n 感測器的一系列磊晶結構、元件組態、光耦合等等將是直得研究的分支。而在這些分支將包含了暗電流密度、量子效率、頻帶寬、線性、波長選擇性、和操作的偏壓。以下就較為重要的三項加以闡述：

(一) 暗電流

在不受光的環境中，光電二極體的反偏的漏電流的量測，是為了驗證磊晶與元件製程的品質。InGaAs P-I-N 感測器在典型的反向偏壓操作中，漏電流大多數起源於載子產生或擴散。前者與長晶過程中缺陷形成和元件的製程有很大的關係，而後者是與濃度有某種程度的關係。儘管在高速(GHz or Gb/s)通信系統中，由元件漏電流所引起的雜訊對系統靈敏性有很少影響。具有較大的漏電流密度意味著較不適當的元件製程或較差的晶片品質，進而造成可靠性和穩定性的問題。達成 InGaAs PD 低漏電流密度的先決條件是要從一個低蝕刻缺陷密度基板開始長晶，而沉積晶格不匹配小於 1000ppm 的磊晶層。在元件製程方面，一般而言，選擇性區域擴散的平面型元件能夠較平台型元件實現更小的漏電流密度數百倍。如果能夠能將平台裸露的表面做好保護，譬如介電質的保護或選擇適當的擴散區域的遮蔽，平台型 p-i-n 感測器元件也可將漏電流密度降低到接近

平面型 p-i-n 感測器元件的大小。此外，盡可能利用較大的能隙或將空乏區設計在較寬的能隙上皆可得到極佳的結果。

(二) 量子效率

量子效率是與感測器靈敏性有關的另一個參數，這表示入射光被吸收和轉變成有用電信號的百分比。在異質接面 p-i-n 感測器中，光訊號由吸收區孔徑入射，然後在高電場的本質區被吸收轉換成有用的電訊號。因此耦合孔徑、表面抗反射率、吸收材質長度的設計皆決定了光被吸收的多寡。其中表面抗反射率中可在精細的設計與精準的沈積厚度中降到零；因為頻寬與量子效率必須有所折衷，因此許多利用共振腔型 (RCE)、邊緣耦合型或波導型感測器元件皆可同時獲得高速度與高響應的操作特性。共振腔型是在吸收區的另一端沈積高反射率的結構，將穿過吸收區的入射光再反射回到吸光區，再行被吸收。如此一來，吸收區的長度可被有效降低一半而不影響量子效率而提升元件的工作頻寬。邊緣耦合型因具有將光入射路徑與吸收載子運行路徑分離的特性因而克服了高響應與高效率的衝突問題。同時因為沒有未空乏的 p^+ - or n^+ -InP 的區域在吸收路徑上，在短波長的應用上有很大的潛能。

(三) 頻寬：

較大的頻寬所代表的意義是在一固定的時間區間內可傳輸更多的資料。p-i-n 感測器元件的頻寬基本上是由兩種機制所限定：載子傳輸與電容放電。載子傳輸時間最主要是考量傳輸長度與運行路徑間是否有阻礙；而後者是與充放電的 RC 時間常數有關。在單一異質接面或雙異質接面感測器具有能隙的不連續 (ΔE_C & ΔE_V) 將阻礙了載子的流動而造成了數毫奈秒 (picoseconds) 的傳輸延遲。這樣的狀況在較低的偏壓，或異質接面裸露在空乏區內時特別嚴重。把異質接面間的摻雜濃度提升，或利用漸變式的異質接面的能隙來磊晶，皆可有效防止接面暴露在空乏區的問題。

而較短的傳輸長度所需要的傳輸時間也較少，但不幸地是，較短的傳輸長度也同時意味著有較大的接面電容。而這樣的衝突可由元件的面積及介電常數的縮小來降低。但過小的接面面積將造成面吸光型感測器元件耦合孔徑的減少及增加了接觸電阻。另一個主要電容的來源是與後級元件連結的金屬 pad，而這方面的問題可經由將

元件磊晶在半絕緣的晶片上、或將金屬 pad 懸空或沈積在較厚的低介電材質上（如 polyimide 或 SiO₂）。

三、重點研究

(一) 共振腔型感測器 (Resonant-Cavity Photodetectors) ECR PIN :

1. 設計與成長 Distributed Bragg Reflector(DBR)的高反射率反射面鏡：

DBR 反射面鏡是一種週期性的結構，由兩種不同折射係數 n_2 , n_3 的材料所構成，厚度各為四分之一入射波長除以折射係數。反射率及反射的頻寬主要與兩種折射係數的差、層數、入射角以及偏極化有關。由於入射角及偏極化可由應用的元件決定，所以在設計時考慮材料的特性反射面。它可用於成像、能量的匯聚，或是雷射共振腔中的反射鏡。尤其是在共振腔中，如 Resonant-Cavity Photodetectors (RECPD's)、vertical resonant-cavity surface emitting lasers(VCSEL's) 等 DBR lasers，若有高反射率的反射面鏡，將會大大的提高它的效能。由半導體或者是介電材料構成的 Distributed Bragg Reflector (DBR) 可以針對不同的波長、頻寬、或是不同偏極化的光訊號設計成高反射或是完全透射的鏡面。又因為 DBR 有頻寬窄，對入射波長的選擇性高等特性，所以也常常被應用於 wavelength-division-multiplexing (WDM)。

2. 磊晶移植技術的研究：

由於異質磊晶(Heteroepitaxy)在磊晶層與基板之間會產生很高的缺陷密度，所以至今仍難得到良好可靠度的元件。近年來，Bell Commun.，Bellcore，HP，Cornell Univ.，UC at Santa Barbara，UI at Urbana-Champaign，和 UT at Austin 等相繼發展出磊晶移植(ELO)與晶片鍵結(Wafer Bonding)技術:前者可將薄薄的磊晶層自基板取下並移植至一新基板上，並以 van der Waals 力形成鍵結，而且有很低的缺陷密度與良好的元件特性;後者則將磊晶層的晶片和另一新的晶片或基板，在適當的高溫高壓下，使形成鍵結。

3. 研製 WDM 共振腔式檢光器：

成長 InGaAs PIN 結構，再進行 DBR 反射面鏡與 InGaAs PIN 結構的晶片鍵結。進而將原本已在 InP 上的 InGaAs PIN 結構做電性上的分析，以確定此次設計結構的特性是否符合分波多工(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技術共振腔式檢光器所需的基本需求。並與已經移植在 DBR 上的 InGaAs PIN 結構的電性來做比較，以確定移植後特性是否因而此變差。

這些技術已成功地研製出良好特性的光電元件、高速元件、導波管、modulator，和光電積體電路，深具發展潛力與應用價值。

(二) 邊緣耦合型感測器元件 (Edge-coupled photodetector) ECPIN

1. Pseudowindow 對邊緣耦合型感測器元件保護的技術研究：

至於對陣列而言，光耦合面對製程的敏感性近來也藉由 pseudowindow 的引入而獲致相當令人滿意的改善。所謂 pseudowindow 事實上是一個置於 p-n 接面前的中性區，藉以提供一鈍性的光耦合面(passive facet)來保護元件的活性區(active region)不受外在因素所影響，諸如氧化、離子撞擊、磨損等。對實現高良率邊緣耦合型檢光器陣列，採用 pseudowindow 將是較簡易也較可靠的作法。參以邊緣耦合型檢光器不需如邊緣發射型雷射般高品質的鏡面，我們計畫採 photolithography 及 dry/wet etching 來分別定義 pseudowindow 與形成光耦合面，進而實現高速、高效率、高良率之邊緣耦合型砷化銦鎵 p-i-n 檢光器陣列。

2. 解決「光孔縮小及耦合耗損」光耦合技術上的限制：

在高速元件中，邊緣耦合型感測器吸光區厚度不會超過 $1\mu\text{m}$ 以上，若要將一般孔徑 $2\mu\text{m}$ 以上光纖用以耦合，在量子效率上將大打折扣。近來在製作完成的元件前方經由蝕刻的方式形成斜坡，使得入射光源經由反射，而入射到邊緣耦合型感測器元件的吸光區。如此一來，只要蝕刻做的夠深，光纖孔徑大小將不再形成量子效應縮減的外在限制。

3.降低電容提升頻寬

當元件速度需求越來越快時，元件尺寸將隨之縮小，元件本身的電容將不再是限制元件速度的主要原因。取而代之的是要與後極放大器相連結的金屬線或 bondpad 的電容大小。傳統 III-V 族光電元件具有較高的介電係數，因此其電容難以降低。若在金屬線及 bondpad 大小保持不變的要求下，將較低介電質的材料來做為金屬下方的承載物將對元件速度有極佳的改善。另外，元件製成中所引發的旁路電容在元件尺寸逐漸縮小之下，將更行嚴重，這也是我們極欲解決的問題。

四、前瞻研究

(一) 共振腔型感測器 (Resonant-Cavity Photodetectors) ECR PIN :

分波多工(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技術在通信系統的應用上，可有效提高通信系統的容量，傳輸速率與高靈敏度。但由於異質磊晶(Heteroepitaxy)在磊晶層與基板之間會產生很高的缺陷密度，所以至今仍難得到良好可靠度的元件。最近幾年，以晶片鍵結技術使之熔合，解決 InGaAs/InP 晶片和 AlAs/GaAs DBR 晶片之間的晶格差配問題，成功地研製出對波長具選擇性的共振腔加強型檢光器。因為在光纖裡傳送不同的光信號，使用此共振腔加強型檢光器分別檢測出這些不同波長的光信號，可使整個通信系統的傳送容量，傳送速率大大的提升，並可降低信號間的干擾(crosstalk)。

(二) 邊緣耦合型感測器元件 (Edge-coupled photodetector) ECPIN

在高速、高密度的光纖通訊系統中，單石化砷化銦鎵檢光器陣列，相較於複合式陣列，提供更一致、更可靠的檢光器特性以及較低廉的生產成本。而其中邊緣入射型檢光器，在與邊緣發射型雷射或波導整合時，比起傳統面入射型檢光器，可採用更簡易的整合方式，因而得以進一步降低整體成本。唯傳統單石化檢光器陣列絕大多數採表面耦合型元件，此類元件存在著速度與效率間的矛盾，往往必須藉縮減吸收層的厚度以換取更快的反應。另一方面，邊緣耦合型檢光器具有互相垂直的光吸收路徑與載子遷移路徑。理想情形下，薄化吸收層以提升速度並不會縮短吸收路

徑，因此量子效率應維持一定值。然而實際上，薄化吸收層對邊緣耦合型檢光器會造成耦合孔(coupling aperture)的縮減，進而可能造成光在引入時的損耗(coupling loss)。更甚者，一般邊緣耦合型檢光器的光耦合面易受元件後續處理所影響，諸如劈裂、鍍抗反射層，以至於儲放環境等，故對於「每一顆元件都重要」的陣列而言，以邊緣耦合型檢光器所構成的陣列可以預期會遭遇良率上的嚴重考驗。

然而隨著覆晶封裝技術(flip-chip bonding)的發展，邊緣耦合型檢光器在與邊緣發射型雷射或波導整合時的簡易性，較之於傳統表面耦合型檢光器，引發對於縮減成本的考量。而之前所提及欲達高速操作所造成的光孔縮小及耦合耗損，實屬於「外在」光耦合技術上的限制，而非如同表面耦合型元件受到「內在」磊晶厚度的限制。因此隨著耦合元件(coupler)的進展，高速、高效率的邊緣耦合型檢光器將得以呈現。

五、參考文獻

共振腔型感測器 (Resonant-Cavity Photodetectors) ECR PIN :

- [1] M.Born and E. Wolf, Principles of Optics, 3rd ed Oxford : Pergamon, 1965
- [2] T. Mukaiharu, N. Yamanaka, N. Iwai, T. Ishikawa and A. Kasukawa:"1.3 μ m GaInAsP lasers integrated with butt-coupled waveguide and high reflective semiconductor/air Bragg reflector (SABAR)" Electron. Lett., 1998, 34, pp.882-884
- [3] S. S. Murtaza, K. A. Anselm, A. Srinivasan, B. G. Streetman, J. C. Campbell,:"High-Reflectivity Bragg Mirror for Optoelectronic Applications"IEEE J. Quantum Electron., 1995,31,pp1819-1825
- [4] A.R. Hawkins,W. Wu, P. Abraham, K. Streubel, and J.E. Bowers, Appl. Phys. Lett.70, 303 (1997).
- [5] B.F. Levine, A.R. Hawkins, S. Hiu, B.J. Tseng, C.A. King, L.A. Gruezke, R. W. Johnson, D.R. Zolonwski, and J.E. Bowers, Appl. Phys. Lett. 70, 2499 (1997).
- [6] I.H. Tan, J.J. Dudley, D.I. Babic, D.A. Cohen, B.D. Young, E.L. Hu, J.E. Bowers, B.I. Miller, U.Koren, and M.G. Young, IEEE Photon. Lett. 6, 811 (1994).

- [7] S.S. Murtaza, I.H. Tan, R.V. Chelakara, M.R. Islam, A. Srinivasan, K.A. Anselm, J.E. Bowers, E.L. Hu, R.D. Dupuis, B.G. Streetman, and J.C. Campbell, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 7, 679 (1995).
- [8] I.H. Tan, E.L. Hu, J.E. Bowers, and B.I. Miller, *IEEE J. Quantum Electron.* 31, 1863 (1995).
- [9] Y. Okuno, K. Uomi, M. Aoki, and T. Tsuchiya, *IEEE J. Quantum Electron.* 33, 959 (1997).
- [10] I.H. Tan, J.E. Bowers, E.L. Hu, and B.I. Miller, *Devices Res. Conf. VIA-4* (1994).

邊緣耦合型感測器元件 (Edge-coupled photodetector) ECPIN :

- [11] D. Gloge, A. Albanese, C. A. Burrus, E. L. Chinnock, J. A. Copeland, A. G. Dentai, T. P. Lee, T. Li, and K. Ogawa, "High-speed digital lightwave communication using LEDs and PIN photodiodes at 1.3 μ m", *Bell Sys. Tech. J.*, vol. 59, pp. 1365-1383, 1980.
- [12] G. E. Stillman, L. W. Cook, G. E. Bulman, N. Tabatabaie, R. Chin, and P. Daniel Dapkus, "Long-wavelength (1.3- to 1.6- μ m) detectors for fiber-optical communications", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 29, pp. 1355-1371, 1982.
- [13] J. E. Bowers, and C. A. Burrus, "Ultrawide-band long-wavelength p-i-n photodetectors", *J. Lightwave Technol.*, vol. 5, pp. 1339-1350, 1987.
- [14] R. Mack, "InGaAs photodiodes for long-wavelength fiberoptic communications", *Laser Focus/Electro-Optics*, pp. 136-142, Dec.1987.
- [15] A. Davidson and K. L. Dessau, "High-speed detectors: faster measurements for today's laboratory", *Photonics Spectra*, Sep. pp. 110-114, 1998.
- [16] T. P. Pearsall, "Ga_{0.47}In_{0.53}As: a ternary semiconductor for photodetector applications", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 16, pp. 709-720, 1980.
- [17] L. W. Cook, and G. E. Stillman, "Temperature dependent electron velocity-field characteristics for In_{0.53}Ga_{0.47}As at high electric fields", *UIUC T. H. Windhorn, J. Electron. Mater.*, vol. 11, pp. 1065-1082, 1982.
- [18] T. H. Windhorn, L. W. Cook, and G. E. Stillman, "The electron

- velocity-field characteristic for n-In_{0.53}Ga_{0.47}As at 300 K”, IEEE Electron Device Lett., vol. 3, pp. 18-20, 1982.
- [19] H. J. Stocker and D. E. Aspnes, “Surface chemical reactions on In_{0.53}Ga_{0.47}As”, Appl. Phys. Lett., vol. 42, pp. 85-87, 1983.
- [20] M. A. Ordal, L. L. Long, R. J. Bell, S. E. Bell, R. R. Bell, R. W. Alexander, Jr., and C. A. Ward “Optical properties of the metals Al, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti, and W in the infrared and far infrared”, Appl. Optics, vol. 22, pp. 1099-1119, 1983.
- [21] D. A. Humphreys, R. J. King, D. Jenkins, and A. J. Moseley, “Measurement of absorption coefficients of Ga_{0.47}In_{0.53}As over the wavelength range 1.0-1.7 μm”, Electron. Lett., vol. 21, pp. 1187-1189, 1985.
- [22] W. Kowalsky, and A. Schlachetzki, “Transferred-electron effect in InGaAsP alloys lattice-matched to InP”, Solid-State Electron., vol. 28, pp. 299-305, 1985.
- [23] K. Brennan, “Theory of the steady-state hole drift velocity in InGaAs”, Appl. Phys. Lett., vol. 51, pp. 995-997, 1987.
- [24] P. E. Hallali, P. Blanconnier, and J. P. Praseuth, “Zn-diffused pn junction in the quaternary (A_{10.48}In_{0.52}As)_z(Ga_{0.47}In_{0.53}As)_{1-z}”, J. Electrochem. Soc., vol. 135, pp. 2869-2872, 1988.
- [25] Canada D. Comedi, G. Balcaitis, B. J. Robinson, and D. A. Thompson Canm., “Study of thermal desorption of UV/ozone oxide on InP”, J. Phys., vol. 70, pp. 1043-1049, 1992.
- [26] G. Augustine, N. M. Jokerst, and A. Rohatgi, “Single-crystal thin film InP: fabrication and absorption measurements”, Appl. Phys. Lett., vol. 61, pp. 1429-1431, 1992.
- [27] J. Nakamura, H. Niu, and S. Kishino, “Barrier height of InP Schottky diodes prepared by means of UV oxidation”, Jpn. J. Appl. Phys., pt. 1, vol. 32, pp. 699-703, 1993.
- [28] M. Voos, “Electronic properties of MO-CVD grown InGaAs-InP heterojunctions and superlattices”, J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 1, pp. 404-408, 1983.
- [29] M. Ogura, M. Mizuta, K. Onaka, and H. Kukimoto, “A capacitance investigation of InGaAs/InP isotype heterojunction”, Jpn. J. Appl.

- Phys., vol. 22, pp. 1502-1509, 1983.
- [30] R. Yeats, and K. Von Dessonneck, "Polyimide passivation of $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, InP, and InGaAsP/InP p-n junction structures", Appl. Phys. Lett., vol. 44, pp. 145-147, 1984.
- [31] S. R. Forrest, P. H. Schmidt, R. B. Wilson, and M. L. Kaplan, "Relationship between the conduction-band discontinuities and band-gap differences of InGaAsP/InP heterojunctions", Appl. Phys. Lett., vol. 45, pp. 1199-1201, 1984.
- [32] S. Nojima, M. Oishi, H. Asahi, and H. Nagai, "An interfacial property of the InGaAs/semi-insulating InP structure prepared by metal-organic vapor phase Epitaxy", Phys. Stat. Sol. A, vol. 90, pp. K215-K218, 1985.
- [33] K. W. Carey, S. Y. Wang, R. Hull, J. E. Turner, D. Oertel, R. Bauer, and D. Bimberg, "Characterization of InP/GaInAs/InP heterostructures grown by organometallic vapor phase epitaxy for high-speed p-i-n photodiodes", J. Cryst. Growth, vol. 77, pp. 558-563, 1986.
- [34] D. M. Braun, "Design of single layer antireflection coatings for InP/ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ /InP photodetectors for the 1200-1600-nm wavelength range", Appl. Optics, vol. 27, pp. 2006-2011, 1988.
- [35] M. T. Furtado, M. S. S. Loural, A. C. Sachs, and P. J. Shieh, "Band offset in GaAlAs and InGaAs:InP heterojunctions by electrochemical CV profiling", Superlattices and Microstructures, vol. 5, pp. 507-510, 1989.
- [36] Y. Le Bellego, J. C. Renaud, P. Blanconnier, and J. P. Praseuth, "Passivation of GaInAs PIN photodiodes by UVCVD SiN_x ", Appl. Surf. Sci., vol. 39, pp. 168-177, 1989.
- [37] Th. Scherg, R. Strzoda, and R. Trommer, "MOVPE growth of InP/ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ /InP double heterostructures", Chemtronics, vol. 4, pp. 35-39, 1989.
- [38] P. Ambree, A. Hangleiter, M. H. Pilkuhn, and K. Wandel, "Acceptor diffusion across InGaAs/InP heterointerfaces", Appl. Phys. Lett., vol. 56, pp. 931-933, 1990.
- [39] B. C. Johnson, J. C. Campbell, A. G. Dentai, C. H. Joyner, and G. J. Qua, "Interaction of hole trapping and transit effects in the temporal

- response of InP/InGaAs p-type insulator n-type photodiodes”, *J. Appl. Phys.*, vol. 68, pp. 5343-5347, 1990.
- [40] J. G. Wasserbauer, J. E. Bowers, M. J. Hafich, P. Silvestre, L. M. Woods, and G. Y. Robinson, “Specific contact resistivity of InGaAs/InP p-isotype heterojunctions”, *Electron. Lett.*, vol. 28, pp. 1568-1570, 1992.
- [41] D. Pogany, F. Ducroquet, S. Ababou, and G. Bremond, “Electrical characterization of lattice-mismatched InP/In_xGa_{1-x}As/InP heterostructures and PIN photodiodes grown by LP-MOCVD”, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 140, pp. 560-563, 1993.
- [42] R. Y. Fang, D. Bertone, G. Morello, and M. Meliga, “Eaves structures on (100) InP and InP/InGaAsP/InP heterostructures”, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 144, pp. 3940-3945, 1997.
- [43] S. Miura, H. Machida, O. Wada, K. Nakai, and T. Sakurai, “Monolithic integration of a pin photodiode and a field-effect transistor using a new fabrication technique-graded step process”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 46, pp. 389-391, 1985.
- [44] S. Miura, O. Wada, M. Makiuchi, and K. Nakai, “Optoelectronic integrated AlGaAs/GaAs p-i-n/field-effect transistor with an embedded, planar p-i-n photodiode”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 48, pp. 1461-1463, 1986.
- [45] D. Wake, E. G. Scott, and I. D. Henning, “Monolithically integrated InGaAs/InP PIN-JFET photoreceiver”, *Electron. Lett.*, vol. 22, pp. 719-721, 1986.
- [46] J. L. Gimlett, “Low-noise 8 GHz PIN/FET optical receiver”, *Electron. Lett.*, vol. 23, pp. 281-283, 1987.
- [47] J. C. Renaud, N. L. Nguyen, M. Allovon, P. Blanconnier, S. Vuye, and A. Scavennec, “GaInAs Monolithic photoreceiver integrating p-i-n/JFET with diffused junctions and a resistor”, *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, pp. 1507-1511, 1988.
- [48] A. Eisenbach, A. Goldhorn, E. Kuphal, and K. Mause, “MOVPE growth for an integrated InGaAs/InP PIN-HBT receiver using Zn-doped p⁺-InGaAs layers”, *J. Cryst. Growth*, vol. 170, pp. 451-455, 1997.

- [49] K. Takahata, Y. Muramoto, H. Fukano, K. Kato, A. Kozen, O. Nakajima, S. Kimura, and Y. Imai, "20 Gbit/s monolithic photoreceiver consisting of a waveguide pin photodiode and HEMT distributed amplifier", *Electron. Lett.*, vol. 33, pp. 1576-1577, 1997.
- [50] P. Fay, W. Wohlmuth, A. Mahajan, C. Caneau, S. Chandrasekhar, and I. Adesida, "A comparative study of integrated photoreceivers using MSM/HEMT and PIN/HEMT technologies", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 582-584, 1998.
- [51] K. Takahata, Y. Muramoto, H. Fukano, K. Kato, A. Kozen, O. Nakajima, and Y. Matsuoka, "46.5-GHz-bandwidth monolithic receiver OEIC consisting of a waveguide p-i-n photodiode and a HEMT distributed amplifier", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 1150-1152, 1998.
- [52] G. G. Mekonnen, W. Schlaak, H. -G. Bach, R. Steingruber, A. Seeger, Th. Engel, W. Passenberg, A. Umbach, C. Schramm, G. Unterborsch, and S. van Waasen, "37-GHz bandwidth InP-based photoreceiver OEIC suitable for data rates up to 50 Gb/s", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, pp. 257-259, 1999.
- [53] J. E. van der Linden, P. P. Van Daele, P. M. De Dobbelaere, and M. B. Diemeer, "Compact multichannel in-line power monitor", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, pp. 263-265, 1999.
- [54] Y. G. Wey, K. S. Giboney, J. E. Bowers, M. J. W. Rodwell, P. Silvestre, P. Thiagarajan, and G. Y. Robinson, "108-GHz GaInAs/InP p-i-n photodiodes with integrated bias tees and matched resistors", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 1310-1312, 1993.
- [55] Y. G. Wey, K. S. Giboney, J. E. Bowers, M. J. W. Rodwell, P. Silvestre, P. Thiagarajan, and G. Y. Robinson, "110-GHz GaInAs/InP double heterostructure p-i-n photodetectors", *J. Lightwave Technol.*, vol. 13, pp. 1490-1499, 1995.
- [56] V. M. Andreev, A. T. Gorelenok, M. Z. Zhingarev, L. E. Klyachkin, V. V. Mamutin, N. M. Saradzhishvili, V. I. Skopina, O. V. Sulima, and N. M. Schmidt, "Investigation of leakage currents in planar p-n junctions in InP and in p-i-n InGaAs/InP structures", *Sov. Phys. Semicond.*, vol. 19, pp. 411-414, 1985.

- [57] A. K. Chin, B. V. Dutt, W. S. Trimmer, J. R. Zuber, T. Boone, and K. D. Trapp, "Evaluation of misfit dislocations in planar, zinc-diffused $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ PIN photodiodes", *Mater. Lett.*, vol. 1, pp. 152-156, 1983.
- [58] T. P. Lee, C. A. Burrus, and A. G. Dentai, "InGaAs/InP p-i-n photodiodes for lightwave communications at the 0.95-1.65 μm wavelength", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 17, pp. 232-238, 1981.
- [59] C. A. Burrus, A. G. Dentai, and T. P. Lee, "Large-area back-illuminated InGaAs/InP photodiodes for use at 1 to 1.6 μm wavelength", *Optics Communications*, vol. 38, pp. 124-126, 1981.
- G. H. Olsen, "Low leakage, high-efficiency, reliable VPE InGaAs 1.0-1.7 μm photodiodes", *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 2, pp. 217-219, 1981.
- [60] G. H. Olsen, N. J. DiGiuseppe, P. P. Webb, T. J. Zamerowski, J. R. Appert, and M. G. Harvey, "Reliability of VPE long-wavelength lasers and detectors", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 30, pp. 1609-1610, 1983.
- [61] K. Li, E. Rezek, and H. D. Law, "InGaAs PIN photodiode fabricated on semi-insulating InP substrate for monolithic integration", *Electron. Lett.*, vol. 20, pp. 196-198, 1984.
- [62] P. Cinguino, F. Genova, C. Rigo, and A. Stano, "Low dark current InGaAs PIN photodiodes grown by molecular beam epitaxy", *Electron. Lett.*, vol. 21, pp. 139-140, 1985.
- [63] Y. Hu, R. Sachot, and M. Ilegems, "Characterization of a top-illuminated p-i-n diode with an indium tin oxide contact", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 54, pp. 2076-2078, 1989.
- [64] G. Ripoche, P. H. Decor, C. Blanjot, B. Bourdon, P. Salsac, and E. Duda, "First life-test results on planar p-i-n InGaAs/InP photodiodes passivated with SiO_2 or $\text{SiN}_x+\text{SiO}_2$ or SiN_x layers", *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 6, pp. 631-633, 1985.
- [65] D. Wake, R. H. Walling, S. K. Sargood, and I. D. Henning, "In $_{0.53}$ Ga $_{0.47}$ As PIN photodiode grown by MOVPE on a semi-insulating InP substrate for monolithic integration", *Electron. Lett.*, vol. 23, pp. 415-416, 1987.

- [66] R. H. Walling, and I. D. Henning, "Planar-junction, top- illuminated GaInAs/InP pin photodiode with bandwidth of 25 GHz", *Electron. Lett.*, vol. 25, pp. 967-968, 1989.
- [67] J. G. Bauer, and R. Trommer, "InGaAs dual-pin detector with very symmetric properties for use in coherent optical receivers", *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 10, pp. 583-584, 1989.
- [68] G. H. Olsen, N. J. DiGiuseppe, P. P. Webb, T. J. Zamerowski, J. R. Appert, and M. G. Harvey, "Reliability of VPE long-wavelength lasers and detectors", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 30, pp. 1609-1610, 1983.
- [69] S. Y. Hu, J. Ko, E. R. Hegblom, and L. A. Coldren, "Multimode WDM optical data links with monolithically integrated multiple-channel VCSEL and photodetector arrays", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 34, pp. 1403-1414, 1998.
- [70] A. Alduino, Y. Zhou, S. Q. Luong, C. P. Hains, and J. Cheng, "Wavelength multiplexing and demultiplexing using multiwavelength VCSEL and resonance-enhanced photodetector arrays", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 1310-1312, 1998.
- [71] S. R. Forrest, "Performance of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ photodiodes with dark current limited by diffusion, generation-recombination, and tunneling", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 17, pp. 217-226, 1981.
- [72] Y. G. Wey, D. L. Crawford, K. Giboney, J. E. Bowers, M. J. Rodwell, P. Silvestre, M. J. Hafich, and G. Y. Robinson, "Ultrafast graded double-heterostructure GaInAs/InP photodiode", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 58, pp. 2156-2158, 1991.
- [73] Y. M. Zhang, V. Borzenets, N. Dubash, T. Reynolds, Y. G. Wey, and J. E. Bowers, "Cryogenic performance of a high-speed GaInAs/InP p-i-n photodiode", *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, pp. 529-533, 1997.
- [74] D. Wake, L. C. Blank, R. H. Walling, and I. D. Henning, "Top-illuminated InGaAs/InP p-i-n photodiodes with a 3-dB bandwidth in excess of 26 GHz", *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 9, pp. 226-228, 1988.
- [75] S. Kagawa, K. Inoue, I. Ogawa, Y. Takada, and T. Shibata, "Wide-wavelength InGaAs/InP PIN photodiodes sensitive from 0.7 to

- 1.6 μm ”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 28, pp. 1843-1846, 1989.
- [76] J. G. Bauer, and R. Trommer, “InGaAs dual-pin detector with very symmetric properties for use in coherent optical receivers”, *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 10, pp. 583-584, 1989.
- [77] D. Wake, N. G. Walker, and I. C. Smith, “Zero-bias edge-coupled InGaAs photodiodes in millimeter-wave radio-fiber systems”, *Electron. Lett.*, vol. 29, pp. 1879-1881, 1993.
- [78] D. P. Luo, J. T. Zhu, X. S. Jiang, A. L. Kellner, and P. K. L. Yu, “Transverse junction waveguide InGaAs/InP photodiode”, *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 1872-1873, 1995.

第三部分 光電積體電路

一、前言：

半導體製程的不斷進步與元件尺寸微小化，使得晶圓良率及矽晶片集積度大幅提昇，帶來了低功率消耗和整合的可能，也大幅降低了晶片的成本。與電子電路相似，光電積體電路即是將光學與電子元件做在同一晶圓(Wafer)上，也就是整合在同一晶片(Opto -Electronic IC ；OEIC)。通常，OEIC的基板(substrate)材料選擇砷化鎵(GaAs)或磷化銦(InP)。OEIC發展至今已有一些成品問市，如將半導體雷射(包含面射型雷射)、半導體雷射之驅動電路及調變電路與受光元件與放大電路整合之光積體電路。光電積體電路主要目的，在可以大幅降低元件測試及收發模組的IC封裝成本。

在光纖通訊科技方面，高密度分波多工技術(DWDM，在同一根光纖內傳輸多重不同波長的光信號，以提高單根光纖的傳輸能力)、摻鉍光纖放大器技術(可將光信號直接放大，具有輸出功率高、噪聲小，增益帶寬等優點，EDFA)已取得突破性進展並得到廣泛的應用。全光通信是一種在DWDM系統和光傳輸設備中無需進行任何光電變換的光波通信，由於高密度分波多工技術和摻鉍光纖放大器技術的快速發展，這種全新的技術也日趨成熟。日後將使用於橫跨太平洋和大西洋的通信系統上，給全球的通信業帶來蓬勃生機。而其技術的根源即是半導體光電子元件及光電積體電路。

光電子元件可細分為光主動元件與光被動元件，顧名思義，光主動元件的觀念就類似一般電子的主動元件，乃是將電轉換為光，光再轉電，以及將光訊號放大等功能。這類產品包括光收發模組、光放大器等。光主動元件年平均成長率可達30%以上，是成長最快的光纖通訊產品，今年受全球經濟衰退影響成長趨緩，但較光被動元件輕微，近幾年台灣才大量投入這方面的研發。光被動元件是與光、電轉換無關的零組件，主要功能在於連接、耦合、分光、衰減、及旋轉光波路徑等。產品種類廣泛，包含光連接器、光纖耦合器、光衰減器、光隔絕器、光循環器、光纖光柵、光開關、波長多工器...等。相較於其他元件，光被動元件門

檻低且適合量產，符合國內的製造優勢。

光電子元件的發展趨勢可用兩點概括：一是像微電子一樣實現積體化。另一點就是繼續利用能帶工程使各種新型的人造半導體異質結構、超晶格材料和量子井（線、點）等得以實現，並用以研制高性能的元件。目前將功能不同的若干光電子元件通過內部光波導互連、最佳化整合在一個晶片上的光子積體電路（PIC）正在迅速發展。再下一步將是研制光子積體電路和微電子積體電路的共融體即光電積體電路（OEIC），OEIC將使晶片的性能提高、功率消耗降低，成品良率和可靠度明顯的改善，如此將突破分立元件的功能局限。根據市場需求和據技術發展的預測，未來幾年將是光電通訊元件與光電積體電路高度發展的時期。

在長距離大容量的光纖通信、光存儲、光顯示、光通訊、光訊號處理、雷射加工、雷射醫療和軍事武器裝備，均會廣泛應用到光電積體電路與光電元件，並預期還會在未來的高科技研究發展中扮演重要地位。日本《呼聲》月刊曾評論：“21世紀具有代表意義的主導產業，第一是光電子產業，第二是電信通訊產業，第三是健康和福利產業...”，可以斷言，繼電子科技之後，光電子科技將再次啟動人類科技發展的革命。

二、國外研究狀況

光電子元件和技術已形成一個巨大的光電子產業，每年並以飛快的速度增長，對國民經濟與國家發展影響愈來愈大。網際網路的高速成長與Internet的廣泛應用對電信網路的頻寬要求愈來愈高，為滿足需求的激增，人們可以靠提高單路光的訊號運載量，或者是鋪設更多的光纖。其實，最好的方法是靠發展高密度分波多工技術，增加光纖內導光的數目。根據實驗記錄，高密度分波多工技術已可達到2.64Tbps。高密度分波多工技術的普遍運用為光電基體電路及光電子元件提供了廣闊的、快速增長的市場。

在新型光電晶片方面，積體光元件近年已在市場上出現。一方面各國已展開研製開發更高積體度PLC和OEIC、多波長的半導體雷射器列、半導體雷射器與高速調變器晶片等。同時要注意到更複雜的三維積體系統晶片的研發也已開始，就是通過在PIC或OEIC中引入微機電技

術，從而發展微型光機電積體系統(MOEMS)。

在中國大陸，發展光通訊產業已成為全民共識，廣大的市場與優惠的招商條件，並以上述之優勢培植出通訊系統及設備廠商，是台灣業者於目前尚無能力跨入的領域，未來對台灣產業可能造成的威脅不容忽視。台灣應把握住在元件發展上的優勢，考慮與大陸採取不同的競爭或合作的關係，以爭取未來發展上的契機。

三、國內研究狀況

台灣在光電子技術方面是與國際水準差距不大，與歐美幾個科技最先進國家幾乎同時起步。而國際上光電子產業已經進入加速發展階段，未來三到五年將是最關鍵的時期，因此我們應該利用我國在製程與製造技術的優勢，積極參與發生此項科技。

1999年，在工研院電子所與光電所跨所合作下，我國自行研發製造的第一顆應用在乙太網路(Gigabit)的訊號接收元件「光電積體電路」(OEIC)正式誕生。該 OEIC 符合 IEEE 802.3z Gigabit Ethernet 1000BASE-SX 標準，應用範圍是850nm 短波長的Gigabit乙太網路。目前，國際間具備開發此高頻晶片組能力的廠商，均採用較昂貴的Bipolar 或 BiCMOS 製程，故至今尚無法提供完整的CMOS 解決方案。工研院電子所希望能以CMOS 製程開發完成，若能開發成功，一方面能發揮台灣半導體業在COMS 製程能力，另一方面更有助於提升台灣光通訊系統廠商競爭力及整體產業發展，使台灣邁向光纖通訊的腳步更進一步。

中華電信研究所光電技術部於各種高性能、低成本的光纖通信相關光電元件的研究成果卓越，如 DFB 雷射、量子井雷射和泵浦雷射等各類型通信用雷射、摻鉍光纖放大器和分波多工(WDM)元件、光電積體電路(OEIC)、光調變發送器、高速 PIN 光偵檢器、光接收器和的開發。中華電信研究所已具備整合材料的製造到系統的應用之能力，以後除精益求精外，更往將其技術商業化的方向努力。

除工研院電子所、光電所與中華電信研究所外，產業界的東盈、上

詮等公司在光纖主、被動元件技術之研發已有相當的基礎，而台灣在半導體業一向以改善製程、降低成本的能力聞名。因此，光電積體電路應用技術與較短距離光纖等產量大且成本低的元件非常適合在台灣發展。

此外，WDM 是一相當新的技術，距市場成熟飽和還有一段時期，其中短距離WDM 應用的成長空間還相當大。同時，由於WDM 系統需要其他光主、被動元件的配合，發展WDM技術亦可帶動其他光電元件的技術成長，目前包括中華電信研究所、工研院光電所、上詮等公私單位皆擁有WDM 相關技術，開發WDM 技術將可把台灣光纖通訊產業的資源整合。高密度分波多工技術(DWDM) 之發展尚處於起步階段，其成本必需要能比其他傳輸方法便宜才會被大量使用，目前關鍵元件摻鉍光纖放大器(EDFA) 有降價趨勢，因此降低了DWDM 系統的成本。然DWDM 和現存光纖網路及SDH/ATM 系統整合困難度仍相當高，網管和量測技術也尚未有統一的標準，重要關鍵元件未能量產成本高且有短缺情形，因此目前DWDM 技術發展方向應以解決這些障礙為主。

目前我國光通訊產業，除電信光傳輸設備較具規模外，光主動元件主要靠進口，光被動元件雖為出口導向，也僅佔世界產值的 1.7%，其餘產品在世界市場值所佔比例皆低於 1%，因此我國光通訊產業仍有相當大的成長空間。

四、規劃研究重點：

(一) 可使WDM 價格下降的關鍵因素在於一成功的使用低成本材料以及使用光電積體電路(OEIC)達成量產。因此本所將基於以往在電子元件領域的優良研究成果，積極投入將光學元件及電子元件整合之研究，並利用國內在半導體製程的優勢，以期儘速研發出光電積體電路量產之技術。高密度分波多工技術(DWDM)尚處於起步階段。為使國內在DWDM的技術能在國際上取得先機，本所將投入研究與研發高密度分波多工技術(DWDM)。製造DWDM 元件歸納起來有以下是三種較受歡迎的製造方法：1. 多層干涉濾光膜(Thin film) 2. 相位陣列波導(Phased Array Waveguide, PAW or AWG) 3. 光纖光柵(Fiber Bragg Grating, FBG)。其中相位陣列波導是光電積體電路技術的一種，適合量產，具有潛在性的低成本趨勢，而光纖光柵具有容易與傳輸光纖熔合、插入損耗小，偏振靈

敏度低等優點，故本所在DWDM的發展上將會把主力放在相位陣列波導與光纖光柵之研究上。

- (二) 加強光主動元件，如光調變器、光衰減器、摻鉍光纖放大器、及系統中各類型通信用雷射之發展，如VCSEL，DFB 雷射、量子井雷射等。此技術的市場值相當大，且技術層次較高。
- (三) 基於國內光被動元件(光纜、光耦合器、光纖光柵、光隔絕器等等)的生產力與技術優勢，進一步改善製程及封裝自動化，以生產量大質精的被動元件。另外，藉由目前國內已有的技術，開發新元件如特殊雜質光纖、光纖雷射等，並拓展其應用領域，如生化醫療之用途。
- (四) 投入光通訊量測設備之研發。量測設備使用量將會因為光科技的普及和發展而快速增加。而且其量測之困難度也隨著光積體元件密度的升高而大幅增加。在元件特性量測方面，如何將雷射光源有效耦合至元件內並將元件響應忠實的耦合出來，一直為量測實驗中最棘手的問題。目前光電產品的封裝成本約佔其總成本的七至八成左右，主要原因即是封裝測試的困難度高且必須仰賴人力所致。因此發展一個穩定且容易的量測方法具有很高的商業價值。尋求一適合積體光學量測的技術也將是重點研究之一。

第四部分 光電子封裝分項

一、前言

由於微電子科技的帶動，光電子科技朝向輕薄短小的趨勢發展，未來光電子模組以積體化與低價位為主，因此光電子模組將往光電積體電路 (Optoelectronic Integrated Circuit, OEIC)，及模組化光電元件封裝發展。

以產業技術概況而言，模組化光電元件封裝在國內較具體與規模，例如光收/發模組在光纖通訊應用，因此本文在一般研究中將詳細說明光收/發模組。光收/發模組規劃係參考國科會‘光電科技工業協進會’所出版‘2001年光纖通訊產業技術動態調查’之一部分，感謝他們提供資料。

二、重點研究

(一) 光電積體電路 (OEIC)

在光信號通訊系統中，由於資料傳輸量越來越大，對於傳輸速度的要求也越來越快。以往以獨立光電元件所組成的電路，由於有較高的寄生電抗，而無法達到高速，因此，單石光電積體電路有較低的寄生電抗，故可降低雜訊並增加操作速度，故光電積體電路 (OEIC) 已成為光地線統中的重要發展趨勢。未來 OEIC 的發展在於研發特性良好的單一元件，並再將個別元件積體化，同時降低雜訊，使得 OEIC 有更實用的成果。

(二) 光積體電路 (Photonic Integrated Circuit, PIC)

光積體電路 (PIC) 與 OEIC 不同，OEIC 是將光元件與電子元件積體化後聚在一起，而 PIC 則純粹是由光元件組合而成，而連接 PIC 是透過波導來串接。光元件的種類相當多，因此 PIC 的組合的方式也相當多，目前幾項較重大 PIC 可分為：Tunable Laser, Integrated Laser Detector, Integrated laser Modulator, Integrated Laser

(三) 光電元件構裝

光電元件構裝可分為主動元件與被動元件構裝，主動元件構裝主要為雷射二極體，發光二極體及檢光器元件的組合。通信用雷射二極體構裝要求性能高，因此構裝技術層次高，而工業與商業需求發光二極體構裝，其構裝技術層次較簡單。光資訊產品中光讀取頭的構裝，其體積要求小，性能高及價格低。至於被動元件構裝如光纖連接器，光纖耦合器，光纖隔離器，其技術層次一般較主動元件構裝簡單，因此價格較低。在光電領域，不論是微光學，積體光學，薄膜光學，光電系統均需要光電構裝技術，因此光電構裝跟其他學門是息息相關。

二、前瞻研究

為滿足光通訊系統在在長途骨幹網路市場朝向高頻寬、都會接取網路多頻道數，及區域網路低價化的趨勢。適用於不同網路市場的各式光收/發模組之新式封裝技術近年來不斷的提出。下列出小型化發展、被動式對準方式、覆晶技術、以及高密度多波道模組，為光收/發模組封裝之前瞻研究。

(一) 小型化發展

目前光通訊網路是朝用戶端方向發展，而在都會接取及區域網路的網路規劃上，就需考量到未來用戶數的成長。不論是在電信或是用戶所在建築物內的網路機房都必須面臨空間不足的問題，尤其在頻寬需求增加的趨勢下，於用戶集中且「寸土寸金」的都會區中，業者都會收到辦公室租金過高難以擴充機房空間的限制。因此對這些業者而言，希望佔同樣固定空間的電信及網路設備能提供更多的功能，也就表示設備所能提供傳輸的埠（port）數越多越好。就設備而言，能將更多的收/發模組放在同一片 PCB 上，亦能降低設計及製造的成本。因此，將光收/發模組的體積縮小有其市場需求。

另方面，在過去光纖網路系統的成本較銅纜系統高。直到最

近，相關元件的開發趨於成熟，尤其是一直佔整個系統總成本相當大的光收/發模組，進來的價格一直在下降。而對現場施工的使利性而言，光纖系統在佈建時，確實困難許多（包括截斷光纜及接續光纜）。因此，除光收/發模組在體積縮小外，亦需有針對施工人員或使用者提供方便的組裝及拆卸的連接介面。因而，小性化的設計除意味外觀尺寸的縮小，更需要方便而可靠的機構設計。目前在市場使用的主要有兩大類小型化光收/發模組，一為 Min-DIL 封裝，另一則為 SFF 封裝。

1. Min-DIL 封裝

Min-DIL 封裝模組的 pin 腳是呈 2×4 雙列分佈。主要的特徵為，不需要額外的散熱裝置，如：TEC 及散熱片 (Heat-Sink)，僅靠外殼底部及封蓋散熱，所以，成本可降低；在 PCB 上安裝 Min-DIL 封裝元件時，亦不需向安裝 Butterfly 時元件必須先折彎接腳，所以可方便作業；且體積只有 DIL 式封裝的一半。

Min-DIL 式封裝模組的組裝過程近似前文所提 DIL 式封裝，除了電子及光電元件是直接固定在陶瓷基板而非 TEC 上。而其封蓋亦採用平行滾錫方式。

部分業者相信，在某些傳輸速率的應用市場，Min-DIL 式封裝模組以其低成本的優勢可望取代 Butterfly 的封裝方式。

2. SFF 封裝

如在前面一開始在小型話發展趨勢所說，發展小型 (Small-form-factor, SFF) 光收/發模組可藉由元件降低本身尺寸，可讓跳接面版 (patch panel)、光纖網路線插座 (outlet)、PCB 上可容納更多數量的輸出入埠。增加元件的集積度，最終將降低系統整體的成本，這對於在商業大樓之企業內部網路尤為重要。TIA/EIA/568-B.3 商用大樓佈線標準文件內的光纖纜線元件 (optical-fiber cabling components portion of the commercial building cabling standard) 規定中說明，只要符合 TIA 的標準介面及可達到其性能要求，及可允許小型 (small-form-factor, SFF) 光收發模組及連接器的使用。因此，在實現區域光纖網路，甚或

達到光纖到桌 (FTTD, Fiber-To-The-Desk) 的目標時，推出 SFF 光收發模組及連接器已大幅降低購買設備及佈建成本是重要的關鍵因素。目前在市場有出現的小型光/收發模組及連接器種類有，LC、MT、RJ、VF-45、MU、MTP，以及 FJ 等。

(二) 被動式對準方式

到目前為止，我們所談的各類封裝方式，在光電元件與光纖做對準及固定時，都是使用主動式對準 (active alignment) 方式。所謂主動式對準即是，封裝製程在進行元件對準固定時，其光電元件必須在操作狀態下，即要在通電狀態下，以影像處理等方法實際偵測耦合 (Couple) 效果，再以迴授控制找到最佳耦合的組件間相對位置。當然，這在生產少量的產品時沒有問題。但若產品是需要大批生產時，每個內部組件都需要校正光軸並固定，不僅耗時費工，且沒有效率。

反觀在電子領域中，將 IC 固定在 PCB 上時，不論是 DIP 或 SMT 的組裝製程，都是利用被動式對準 (passive alignment) 方式。因此，在光收/發模組大量化，低價化的市場驅動發展下，被動式對準方式是趨勢。

目前在被動式對準過程中，光電元件固定在基板上的主要技術是，利用事先就已在光電元件 (OE-device) 與基板的結合面上標住對準標記 (alignment mark)。這些對準標記可由光刻 (photolithography) 技術得到。即為一光電元件 (以 LD 說明) 及一平面光波導晶片 (PLC Chip) 固定在 Si 基板上的例子，由機器手臂將元件抓到基板上方，利用基板下方大出紅外線 (Infrared light) 進行元件與基板上所有對應的對準標記之對準，對準後，加熱基板上的金錫銲墊 (Au-Sn pad)，並由元件上方施加壓力，以固定元件到適當位置。

由上例說明可得，光電元件在進行被動式對準時主要是憑藉元件及基板的對準標記對準、覆晶結合 (Flip-Chip) 技術，以及在元件及基板上經由微加工 (micro-machine) 所作的止位及固定機械結

構可達到自動化對準的高效率生產方式。除了自動化組裝以提高生產的優點外，被動式對準可實施批量全檢，可降低過去主動式對準方式所組裝的產品，必須依通電逐步檢驗所耗費電力、設備以及工時的成本。但目前要克服最困難之處在於，裝置微加工及組裝對準的精度 (accuracy) 要求達到 1 至 2 μm 之內的範圍。

(三) 覆晶 (Flip-Chip) 技術

在傳統的光收/發模組內裝光電子元件 (如 LD、PIN) 固定在基板上，並以打線 (wire bonding) 方式將金屬線連接光電子元件的電極與外界連接。但這在追求元件高集積度的發展時會產生空間上的限制，且對於高頻元件而言，打線長度就需注意，以免寄生電感 (parasitic inductance) 產生，所以相關元件的位置在設計之初就收到限制。因此，應用覆晶技術以解決打線索帶來的問題。

所謂覆晶 (Flip Chip) 即指，先在晶片背面上以蒸鍍 (evaporation) 或濺鍍 (sputter) 製作 UBM (Under Ball Metallurgy) 層，再以蒸鍍、電鍍 (plating) 及印刷 (printing) 製程製作金屬凸塊 (solder bump)。翻轉晶片，在經過錫爐 (reflow) 製程將晶片固定於基板上。

回顧 IC 封裝歷史，從傳統上需導線架為載體的 pin 腳插孔式的雙列封裝 (DIP, Dual In-line Package)，到表面黏著 (SMT, Surface Mount Technology) 式的球格陣列 (BGA, Ball Grid Array) 封裝方式上，一定要具備能提供容納更多接腳、散熱及抑制高頻雜訊的性能。而 Flip Chip 封裝能提供較小體積、更短的訊號及熱傳導傳輸距離，以降低雜訊而能替高整體性能的低價方案。

而對於光傳輸模組內部組件在裝配時，Flip Chip 技術除了能提供前述優點外，多顆晶片可利用此技術同時組裝在基板上，如：雷射陣列 (Laser Array) 即可用 Flip Chip 技術一次黏合在基板上。另一方面，在晶片組裝在基板上時，能利用 Solder Bump 的表面張力 (surface tension) 將晶片推到定位 (及到達前提有為加工產生的止位結構)，已完成被動式自動對準 (self-alignment) 的過程。

(四) 高密度多波道 (Multi-Channel) 模組

在光纖通訊系統朝用戶端發展，最大的問題還是在元件的成本過高。因此，許多廠商紛紛努力開發低價適用的元件。其中應用平行光數據傳輸 (parallel optical data link) 方式可滿足接取網路中多用戶連接所需的高頻寬。所謂的平行光數據傳輸，及傳輸線路上的點對點直接以平行光訊號傳輸，而訊號不用在中途做平行/序列 (parallel/serial) 的轉換。如此，不僅可利用光的高頻寬及不受電磁波影響等優點，亦可同實用不同的光纖平行傳輸高速的光訊號。在應用在，不僅可以用在通訊設備上背板 (backplane) 之板對板 (board-to-board) 傳輸，亦可用於 LAN 內高階伺服器中多重處理器 (multi processor) 與周邊裝置 (如：記憶體) 間作 chip 對 chip 的高速傳輸，以解決目前電傳書遇到的傳輸速率限制的瓶頸。

應用在平行光數據傳輸系統的多波道光收/發模組，主要的關鍵元件為發射端的 LD 陣列 (LD Array) 及接收端的 PD 陣列 (PD Array)。目前是使用前面所提的被動式對準及 Flip Chip 技術坐組件組裝。相信在未來，LD Array 的良率更為提昇時，整體光收模組價格下降，促使平行光數據傳輸系統使用更為普遍。

四、一般研究

光收/發模組包括通訊用光源 (或稱為發射器) 與檢光器，通訊用光源主要有 LED 與 LD 兩種，LED 的應用較廣，單價低，不過 LD 的應用有逐漸增加的趨勢，加上 VCSEL (面射型雷射) 因應光纖區域網路而崛起，使得 LED 與 LD 的比例逐年接近。另外，而檢光器則可分為 PIN 與 APD 兩種。

用於光通訊的光電元件在應用上需要與其他電子或光學元件結合才能執行傳送或接收光訊號的作用。由於光電元件多需在較穩定的環境下，才能表現應有的元件特性。尤其，LD 對溫度變化相當敏感，因而必須要有適當的封蓋密封、散熱，甚或溫控裝置。另一方面，LD 所發出的光也必須要有耦合效率較高的封裝方式，才能傳送訊號到所要求

的距離。此外，在含高頻電子元件的模組亦需防制電磁波干擾的問題 (EMI)。

光發射和光接收模組的封裝方式研發

主要可分為：同軸 (Coaxial) 封裝、DIL (Dual In Line) 式封裝，以及蝴蝶式 (Butterfly) 封裝。

(一) 同軸 (Coaxial) 封裝

主要將光電元件(以 LD 作說明)固定於 TO-CAN 的封裝座，並加封蓋作密封。一需要再加連接器插座 (receptacle) 或引線。就通訊用 LD 的 TO-CAN 封裝而言，標準是有 4 跟 pin 腳，但在傳輸速率超過 10GHz 以上就不適用了，而由於 (TO-CAN 封裝) 在其他領域 (如：CD-ROM 讀寫頭) 運用已久，因此封裝技術上算是成熟。

(二) DIL 式封裝

DIL 封裝最大特徵在於其電性接腳 (pin) 分佈在外殼底部的兩側。外殼為長方中空體型，是由衝壓而成。與前所提 TO 同軸外殼相比，空間較大，適合各類光發射和光接收模組的封裝。可就應用需求加裝冷卻裝置。在固定所有內裝元件 (如：LD 的 TO-CAN 封裝元件、監試用 PD，以及冷卻裝置)，並完成所有的 Wire Bonder 過程後，就進行封蓋的封銲，通常採用平行滾銲方式 (於後文的 Butterfly 式封裝內容會有敘述)。

(三) Butterfly 封裝

在要求產品大到更高性能的封裝時，前面所提的兩種封裝方式已不適用。為達高階產品 (如：傳輸速率在 10 Gb/s 以上)，業界發展出蝴蝶 (Butterfly) 式封裝方式。由於其 pin 腳分佈在模組的兩側邊，以其外型近似蝴蝶而命名。

目前，該模組封裝製程先將熱電冷卻器 (TEC, Thermal Electric Cooler) 置於外殼底部並予以固定，再將包含 LD、Detector，以及

其他光電元件所組成的組件（通常都在還未裝入外殼中即先鐸在基座上）置於 TEC 上。然後，完成殼內元件間，以及與伸出殼外之 pin 腳間的打線工作。接著，若產品有含引出線（pigtail）則需將光纖置入殼中進行對準工作。

在將 pigtail 與 LD 對準及光纖固定的過程，可以人工或自動設備完成。此時的光纖除了已經金屬化外，並套上一圓形金屬套管（Metallic Ferrule），以便於焊接固定。目前的作法是藉由一馬鞍型固定做將內涵光纖的金屬套管固定在模組基座上。以自動對準的製程而言，是以自動設備機器手臂上的氣動鑷子（pneumatic tweezer）緊抓金屬套管，調整期在 x、y、z 三軸上，利用圖像系統，找出 LD 與光纖耦合效率最大的位置，再加以焊接固定。

最後，用平行管帶的方法將封蓋熔接於外殼，此法是使用一對平行的圓錐狀滾輪電極（Roller electrode），焊接電流經其中之一的滾輪電極流入待鐸物，並分為兩股，其一流經封蓋，另一則流向外殼。整個電流迴路的高電阻值是在封蓋與外殼接觸的地方，所以使接觸點附近呈熔融狀，而藉由滾輪電極適當的對要焊接的封蓋及外殼加壓，再配合事前設計過通電與冷卻時間的脈衝電流，可在冷卻時間即加壓條件下產生整圈極佳的氣密封鐸結果。

其中，影響封鐸品質的主要原因在：鐸接電流的選擇、接合速度的調整、對待鐸物施加的壓力，以及通電時間與冷卻時間的比例。這些條件在選擇時，過與不及都無法達到較佳的封鐸效果。需注意的是，封蓋及外殼兩者的四個腳均需是圓弧形，以利管輪電極在滾動時的平穩；外殼的外周尺寸應叫封蓋在每邊約大 0.1mm，使滾輪電極圓錐面可是當貼放在帶鐸物，產生較穩定的鐸接效果；待鐸物周邊不應有毛邊，且應無氧化及刮痕情形發生，封鐸前亦需維持乾淨。

平行滾鐸方式除了應用於 butterfly 式封裝外，已可應用在前面所提到的 DIL 或稍後會談及的 Min-DIL 封裝之封蓋與外殼封鐸。

光收/發模組可以有各種組合方式。就搭配的光纖種類，可分為：單模、多模，及塑膠光纖使用的光收/發模組；就傳收的訊號，可分為：SONET/SDH、ATM、FDDI，以及 Ethernet 用收/發模組；而以傳輸速率來分，主要有：155M、622M、1.25G、2.5G、10G 以及 40G；此外，就 pin 腳分佈可概分為單列 (single in line) 及雙列 (dual in line)；依外殼材質，可略分為塑膠及金屬；亦可依有無引線 (pigtail)，分為帶 pigtail 及插拔式收/發模組。各種搭配選擇有其特定的應用市場。

五、產業技術研究概況

(一) 光收/發模組市場分析

雖然說在 2001 一年中，受到整體經濟環境影響，市場必然是較前一年 (2000 年) 衰退。值此投資網路佈建緊縮之時，在添購設備就盡可能不會考慮昂貴先進技術的產品。反觀過去發展光通訊網路系統的終極目標就是「全光化」，簡單來說，就是要將過去處理傳輸或路由所需光電或電光轉換元件 (也就是光收/發模組) 除去，使訊號能一直以光的形式作傳輸及路由，而在朝向全光化方向前進的基礎就在 DWDM 技術。

乙太網路 (Ethernet) 網路的發展，區域網路 (LAN) 發展至今，Ethernet 以其較相競爭的技術 (如 ATM、Token Ring、以及 FDDI 等) 具有較簡單的網路結構、升級容易，以及成本低廉等優點，因此，現以佔有約八成以上全球 LAN 的市場。目前商業大樓的區域骨幹網路 (連續樓層間設備的網路) 也以 1Gb/s 的 Ethernet 為主。另一方面，光纖成本下降後，可以較以往合理的成本使用單模光纖來傳遞 Gigabit Ethernet 訊號至 70 公里遠。就由於 Ethernet 網路設備製造商及部分其他 DataComm 系統製造商深信，以 Ethernet 在今日 LAN 佔有八成以上的設備市場，再加上預計明年初就可使用 10Gb/s Ethernet (10 GbE)，可大大減低了網路的複雜度及升級成本。那麼不久的將來，10 Gb/s Ethernet 將可取代現有的 SONET/SDH 在都會區的主流地位。以使用的傳輸線而言，即使在 1Gb/s Ethernet 世代網路，銅纜業者可已有較高品質的產品

(如：Cat5e 或 Cat6) 作支援。但是，到目前為止銅纜業者仍無法提出足可應付 10Gb/s 的光傳輸模組有個很顯著的成長市場。

目前在 Telecom 的傳輸應用市場上，仍以 OC-48 (2.5G) 及 OC-192 (10G) 為主。由於逐漸成熟的分波多工技術以應用於光通訊傳輸網路上，已可將傳輸容量提升至 1T。預估未來，突破 10T 的傳輸頻寬應是可行的。通常對用於長距離傳輸用光收/發模組，會有較嚴苛的性能要求。如：中心頻率因環境變化及元件老化而導致的偏移要小、頻譜線寬要求較窄等因素，都使其在元件的選用及封裝上的要求特別高（常使用 Butterfly 封裝方式）。由於傳輸距離要長，所以通常是配合單模光纖作傳輸。

在接取網路 (Access) 的市場，即使真正達到光纖到家 (FTTH) 的時機尚早，但在目前日本及歐美國家政策計畫主導下，市場似乎有開始成長的跡象，其中，尤以日本的 FTTH 計畫最為明顯。而在光纖接取市場期待以低價的接取服務以刺激更多用戶的因素下，像雙向式 (Bi-Directional) 光收/發模組就有其成長空間。

其他的應用領域還包含運用在企業網路的儲存資料網路，當然，主要使用光纖通道 (Fibre Channel) 作傳輸方式的 SAN (Storage Area Network) 只是主要幾項儲存資料網路達到安全而快速的儲存及遠端傳送資料功能，靠光纖來傳送資料應是最佳的選擇。而在超短距離的傳輸，包含：板對板 (Board-to-board)、Chip-to-Chip 的 interconnect，由於許多高速傳送應用以達 Gb/s 的傳輸速度，而以傳統金屬線傳輸也已接近其物理的極限。因而，在未來應會利用光的高頻寬特性來作為傳輸方式，以平行傳輸應用（如：高速交換器、超級電腦）來說，就可能會運用到雷射陣列 (Laser Array) 及偵測器陣列 (Detector Array) 元件。

相對於被動元件及模組而言，主動元件及模組較為複雜，牽扯的問題較多，且於實際網路之性能需求較高。因此，技術進入門檻高，廠商需投入較多資金及試產時間。但是，不管是 SONET/SDH、DWDM 及電視光網路等光通訊網路系統中，光收發/模組（或光發射機與光接受機）及光放大器都是不可或缺，且

佔有很大市場需求。以全球成長最快的 DWDM 系統中對主動模組（含光/發模組及摻光纖放大模組），需求約佔六成。剩下四成則為被動元件模組（含分波多工/解多工器、光塞取多工模組及其他）。

（二）我國光收/發模組產業

國內廠商於近幾年才投入光收/模組研發及生產，且面臨進入障礙高的技術挑戰。而幾乎所有的關鍵元件，如通訊用的 LD，必須仰賴進口，再行組裝。大多數使用 FP LD 作為光源，近年來意有廠商使用適合在 DWDM 系統中應用的 DFB LD 及成本較低的 VCSEL 封裝。

國內生產或預計投產光收/發模組相關元件及模組的廠商，多以下游模組封裝製程為主。當然，其中亦有若干廠商以上游磊晶製程、晶粒製程，中游 TO CAN 封裝、光次組件（OSA）組裝為主，或上下游兼有製作。包含旺銖、光環、嘉信、前鼎、台達電、冠德、鴻亞、鴻海、全新、國聯、捷耀、和心光電、光速....等。區域光纖網路的預期成長，帶來廠商對面射型雷射（VCSEL）及小型化（SFF）光收/發模組的興趣。2001 年，國內有廠商自治的面射型雷射磊晶晶片產品出現，包含了 2.5G 的規格。而在 SFF 的光收/發模組產業，已有廠商加入相關聯盟，或接獲國際大廠代工訂單，且已有產品出貨（如 LC 或 VF-45 型的 SFF）。

由於光收/發模組逐漸步入成熟階段，價格快速滑落，國外大廠生產意願降低。因此，是國內廠商的機會。尤其，接近用戶端的產品，性能要求適合國內發展。未來，產品將由目前的 155M（單模及多模）朝向 2.5G 及 10G 產品發展。封裝方式，亦希望由 TO-CAN 轉為適合 Laser Array 封裝且更可靠及省成本的 Flip-Chip 方式。

第五部分 雷射計畫微光機電系統發展與規劃

一、前言:

微系統是從微傳感器所發展而來。在 70 年代微機械壓力傳感器應用於汽車產品，80 年代末美國 MIT 研製出矽晶片靜微馬達，90 年代印表機墨頭，CD 讀寫頭和美國 UCLA 提出的 Free-Space Micro Optical Bench (FSMOB) 等，充分展示了微系統技術的重要應用前景。微光機電系統是本世紀新興的科技領域之一，在學術界與產業界中，微光機電系統的未來發展方向，如光顯示器、光纖光學元件、生醫光學系統與光學儀器等。在產業需求的推動下，生物科技與光通信技術是目前高速發展的時期。微型化不僅使系統體積大大減小、功能大大提高，同時也使性能、可靠性大幅度上升，功耗和價格却大幅度降低。因此，微型化和整合化是人們不斷追求的目標。

以光通信方面為例，光通訊正在向全光通訊網路方向發展。包括美國朗訊公司和多所大學正研究全光通訊網路用的微系統及無線通信用射頻微系統。在生物醫學方面，亦研究將光、機、電、生化等整合為一體，構成一個微型晶片，用於臨床醫學檢測，為醫生甚至家庭提供簡單、廉價、準確和快捷的檢測方法。此外，一些國家亦在研究用於光顯示、高密度儲存、汽車、國防等微光機電系統。

二、重點研究:

(一) 生醫檢測微系統研究:

由於微光機電系統(MOEMS)等關鍵技術及元件的研發，研製生醫電子或光電感測器、配合數位信號器、微處理機、光纖或紅外線傳輸及運用資訊技術，應用在生醫檢測與診斷領域。其中生醫晶片是功能性生物材料與微機電技術之整合晶片，能在小面積範圍內提供多數個微細區域作為功能性生物材料之反應場所，其光學機制可利用 Surface Plasmon Resonance (SPR) 為檢測技術。其他相關生醫工程方面的微光機電系統重要發展方向可為: Capillary Electrophoresis (CE) 分離技術、微粒子 Counter 技術、Optical

Coherence Tomography (OCT) 技術、微質譜儀、微生物光譜儀等微光機電系統整合。

(二) 資訊電子與光通訊元件微系統研究:

光學微掃描器 (MEMS-based Optical Scanner) 是資訊電子中重要的元件之一，其中重要的技術即是致動器的設計；因此，相關的致動器的研究亦是微光機電系統中重要的研究課題，如 Thermal Actuators 及 Electrostatic Actuators 等。隨著光纖通訊的急速成長，利用 MEMS 製程技術已成功地切入光纖通訊元件的市場，典型的例子是光開關器。MEMS 在光通訊更大的潛力在 All-Optical Networking；如同 MEMS 光通訊開關，微光機電系統結合了半導體、光、機、電的特性，使得資料傳遞過程中，可一直保持光與光的傳輸，進而開展了微光機電系統在全光網路之光纖通訊上的機會，其元件包括：光開關 (Optical Switch)、光交換器 (Optical Cross Connectors)、可調變之雷射 (Tunable Laser)、光調變器 (Optical Modulator)、可調變之光濾波器 (Tunable Filter)、增益等量器 (Gain Equalizer)、光波塞取多工器 (Wavelength Division Add/Drop Multiplexer)、微光譜儀 (Micro Spectrum Analyzer)、可調變之接收器 (Tunable Receiver)、AWG 等。近年來，應用液晶材料與光子晶體發展相關之光通訊元件設計，亦可與微光機電系統加以整合。

(三) 輔助軟體整合研究:

在微光機電系統中，利用輔助軟體分析是重要一環設計，MEMCAD 軟體架構可分為：元件的佈局及建造、元件的模型及模擬、系統模型建立及模擬；為能結合光學分析，以利微光機電系統設計，其中的 MemOptics 模組可以用來分析針孔 (Apertures)、金屬光柵 (Grating) 及 Binary Lens 等光學繞射現象，而光學 Library 中亦新增功能，包括 PIN Detector、PIN 2-D Detector、Thin Lens、Polarizer、Beam Splitter 及 VCSEL 等元件。ANSYS 5.6 版更新版中主要增加了適合 MEMS 使用之基本單位考量 (如以 μm 作長度單位) 及增加許多靜電功能，其中包括：靜電場求解功能加強、靜電

/結構耦合關係求解、機電耦合之電路模擬。可與微光學分析連結到相關的微機電系統上，其微光學元件分析有 Refractive 及 Diffractive 等微光學設計，其中的 Binary Optics 在生醫檢測、光通訊或其他光電領域相關的 Beam Steering, Focal Plane Arrays, Phase Modulation, Beam Shaping 及 Optical Transformer 皆有重要的應用。

(四) 微製程技術研究:

重要微製程技術如 Bulk Micromachining, LIGA, Surface Micromachining, Micro EDM, 3D stereo Lithography, Laser Micromachining, Focused Ion Beam Milling 等技術。其中 Bulk Micromachining 相關技術如: (1) Anisotropic Wet Etch, (2) Boron Etch Stop, (3) Dry Bulk Micromachining; LIGA 相關技術如: (1) LIGA, (2) LIGA-LIKE ; Surface Micromachining 相關技術如: (1) Polysilicon Surface Micromachining, (2) Polycrystalline SiGe 等，皆是微光學與微機電系統設計中重要的製程技術發展。而不同製程過程之間的相容性亦是重要的研究議題。

(五) 組裝與封裝整合與自動化技術研究:

組裝的目的在於組合相關之零組件為一體;封裝的目的在於提供微光機電系統穩定的支撐架構。微光機電系統的設計製造雖是高難度的技術，而相關組裝與封裝技術的難度更高。對光而言，微小位移即對光波的物理現象及其特性（波長、光強、相位等）有顯著的變化；因此，如光纖與光纖對位、光纖與光導對位、光導與光導對位、微鏡面直立等有一定的困難度。若能在組裝與封裝整合化的比例有所提升，必可提高其微光機電系統的產品可靠度，如 Monolithic Integration Process 等即是重要技術；而微光機電系統的可靠度分析亦是重要的研究議題。另外，在光通訊元件自動化組裝機台的設計與研究，亦可提高產品的良率。

三、前瞻研究:

整合微系統 (Integrated Microsystems) 是目前重要微系統設計與製程的整合技術；此系統可整合相關的 Electronics, Actuators, Sensors, lasers, Waveguide 等次系統於同一晶片上，即 Micro-Optics, Si-MEMS 及 VCSEL's 等設計與製程技術的整合。近年來，由於奈米科技的發展，將其奈米技術整合到微光機電系統中是未來的研究方向。

四、參考文獻:

- [1] Yu W, Sun YK, Gu N, et al., "Protein and antibody microarrays and their biomedical applications," PROG BIOCHEM BIOPHYS 29 (3): 491-494 JUN 2002.
- [2] Bonnotte E, Gorecki C, Toshiyoshi H, et al., "Guided-wave acoustooptic interaction with phase modulation in a ZnO thin-film transducer on an Si-based integrated Mach-Zehnder interferometer," J LIGHTWAVE TECHNOL 17 (1): 35-42 JAN 1999.
- [3] Jones-Bey HA, "Infrared spectroscopy - MOEMS bolometer may provide cost-effective optical gas sensing," LASER FOCUS WORLD 37 (12): 44-45 DEC 2001.
- [4] Yasseen AA, Smith SW, Merat FL, et al., "Diffraction grating scanners using polysilicon micromotors," IEEE J SEL TOP QUANT 5 (1): 75-82 JAN-FEB 1999.
- [5] Strassner M, Daleiden J, Chitica N, et al., "III-V semiconductor material for tunable Fabry-Perot filters for coarse and dense WDM systems," SENSOR ACTUAT A-PHYS 85 (1-3): 249-255 AUG 25 2000.
- [6] Garrigues M, Leclercq JL, Viktorovitch P, "III-V semiconductor based MOEMS devices for optical telecommunications," MICROELECTRON ENG 61-2: 933-945 JUL 2002.
- [7] Tuantranont A, Bright VM, "Segmented silicon-micromachined microelectromechanical deformable mirrors for adaptive optics," IEEE J SEL TOP QUANT 8 (1): 33-45 JAN-FEB 2002.
- [8] Peter YA, Herzig HP, Dandliker R, "Microoptical fiber switch for a large number of interconnects: Optical design considerations and experimental realizations using microlens arrays," IEEE J SEL TOP QUANT 8 (1): 46-57 JAN-FEB 2002.

製程:

- [9] Wang JH, Tong H, Mao J, et al., "Surface micromachining techniques in InP based Micro-Opto-Electro-Mechanical system," MOL CRYST LIQ CRYST 371: 481-484 2001.
- [10] Tuantranont A, Liew LA, Bright VM, et al., "Phase-only micromirror array fabricated by standard CMOS process," SENSOR ACTUAT A-PHYS 89 (1-2): 124-134 MAR 20 2001.
- [11] Comtois J, Michalick A, Cowan W, et al., "Surface-micromachined polysilicon MOEMS for adaptive optics," SENSOR ACTUAT A-PHYS 78 (1): 54-62 NOV 23 1999.
- [12] Seassal C, Leclercq JL, Viktorovitch P, "Fabrication of InP-based freestanding microstructures by selective surface micromachining," J MICROMECH MICROENG 6 (2): 261-265 JUN 1996.

封裝:

- [13] Oh KW, Ahn CH, Roenker KP, "Flip-chip packaging using micromachined conductive polymer bumps and alignment pedestals for MOEMS," IEEE J SEL TOP QUANT 5 (1): 119-126 JAN-FEB 1999.
- [14] Gilleo K, "MEMS and MOEMS packaging challenges," J MATER PROCESS MANU 8 (4): 361-379 APR 2001.
- [15] Romig AD, Dressendorfer PV, Palmer DW, "High performance microsystem packaging: A perspective," MICROELECTRON RELIAB 37 (10-11): 1771-1781 OCT-NOV 1997.

整合微系統 (Integrated Microsystems):

- [16] Cristea D, Dunare C, Cernica I, et al., "Hybridisation of LEDs with silicon microsensors," MAT SCI SEMICON PROC 3 (5-6): 563-568 OCT-DEC 2000.
- [17] Wu MC, Fan L, Su GD, "Micromechanical photonic integrated circuits," IEICE T ELECTRON E83C (6): 903-911 JUN 2000.
- [18] Picraux ST, McWhorter PJ, "The broad sweep of integrated microsystems," IEEE SPECTRUM 35 (12): 24-33 DEC 1998.

第六部分 雷射計畫有機發光材料及元件

一、究主題說明與國內外發展現況

近年來，隨著有機導體、絕緣體、及半導體材料的齊備，有機光電材料在主動性光電(子)元件的領域裏，如發光元件，獲致快速的進展。一般而言，有機光電材料及元件具有薄膜元件及低溫製程之特性，製程較傳統無機半導體簡化，適用於各種基板以及大面積的製作方式，因此訴求與傳統光電半導體有明顯區隔之應用。

在各種有機光電材料及元件中，近年來以有機發光元件(organic light-emitting devices, OLEDs)及其在平面顯示器應用上之進展最為迅速。OLED 之所以廣受注意，主要是它具有自發光、低電壓、高效率、高亮度、全彩、廣視角、快速應答速度等相對於其它現存顯示器技術的良好特性，所以對於有機發光元件材料、元件、及應用上的研究，無論是學術界或工業界都非常積極。另外 OLED 材料良好的機械韌性和低溫製程，使其可以很容易地製作在任何輕，薄的基板上(如塑膠基板)，激起了人們製作輕便及可撓式(Rollable)顯示器的夢想。除了可直接應用 OLED 技術於自發光型顯示器之外，由於 OLED 技術製作均勻大面積面光源之直接與簡易性，其作為照明、裝飾用光源，或其它顯示器技術(如液晶顯示器)的背光源(或前光源)方面的應用亦當是相當廣泛的。在未來的應用上，更朝向超薄顯示器、可摺捲折疊式電子報紙等方向突破。

雖然高效率的 OLED 首次在文獻中披露不過是十多年前的事，但是由於其所具有的應用潛力，目前具有 OLED 研究計畫的國外學術與工業機構不勝枚舉，日、韓的 Pioneer、NEC、Sanyo、Sony、Idemitsu Kosan、TDK、Toyota、Samsung、LG，美國的 Kodak、IBM、Uniax、UDC、e-Magin、Xerox、DuPont、Dow Chemicals，歐洲的 Philips、CDT-Seiko Epson、Siemens 等國際著名的電子、光電公司皆投注相當之研發能量。近幾年來陸續已有多家國際性的電子公司，發表各種彩色高階之被動矩陣或主動矩陣式 OLED 顯示面板原型，自 1997 年以來先後已有數家國內外公司進入 OLED 顯示器的生產。體會到 OLED 技術的潛力與重要性，目前在國內投入 OLED 顯示器或材料開發的廠商有銖寶、翰立光電、友達光電、勝園、奇美電子、東元激、聯宗光電、光磊、悠景、昱鐳光電等

公司。研究機構如工研院、中研院，各大學光電、電機、材料、化學相關科系亦相當積極地參與 OLED 的研究。

有機發光材料及元件的快速進展，連帶地帶動其它有機光電材料及元件，如有機感光二極體 (organic photodiodes)、有機太陽能電池(organic photovoltaic cells 或 solar cells)、有機薄膜電晶體(organic thin film transistors)、以及前瞻之有機固態雷射 (organic solid-state laser)等近年來的進展。許多有機發光材料在薄膜中或在晶體之固態形式中具有相當高之發光效率及高度之熱穩定性，以適當之光激發方式(optical pumping)或電激發方式(electrical pumping)，已證實可在相當低之臨界激發條件下，即可產生足夠之增益(gain)克服損耗(loss)，產生誘發性發光(stimulated emission, i.e. lasing)。由於在有機的系統中，有許多不同光色之發光材料可供選擇，因此雷射之波長範圍具有從 UV 到 NIR 相當大之可調變性，值得探討作為固態雷射光源之一種材料系統。目前從事有機感光元件、太陽能電池、場效電晶體、雷射等材料、元件與應用的國外公司亦為數不少，例如 Lucent (Bell Lab)、IBM、Kodak、Xerox、Philips、Uniax、UDC (Universal Display Corporation)、Solaronix、Plastic Logic、Seiko Epson、Opticom ASA、Toyota、Sarnof、E Ink、Infineon、3M 等。相對目前國內從事相關研究之研究與學術單位則為數較少，是仍待開發之研究方向。

綜合而言，目前有機光電材料及元件已涵蓋光源(發光二極體或雷射)、感光元件(感光二極體或光導體)、光能轉電能元件(太陽能電池或光伏元件)，以及電子元件(場效電晶體)等，因此除了各種元件單獨各自的應用之外，結合這些有機光電元件可形成更高功能性、智慧型的中、小規模光電積體電路(optoelectronic integrated circuits, OEIC)及系統等，可製作在各式基板上以配合不同的應用情況，拓展有機光電材料及元件之應用及價值。可預期的應用包括影像感測陣列以及以印刷方式製作在各式基板上的中、小規光電積體電路等，可用於用量極大之小型消費電子(如電子識別、電子標籤、智慧卡、可撓性塑膠 IC 等)。

二、建議研究主題

有機光電材料與元件的發展至今始進入初期的應用階段，所以無論

是在元件製程、元件物理、新材料的開發以至應用的技術上，均蘊含許多發明與創新的機會，為一豐富、前瞻及適合跨領域合作之研究領域。針對目前有機光電材料及元件領域發展之現況與未來的趨勢，建議研究之主題可歸納如下：

(一) 有機薄膜(半導體、絕緣體、導體)成長技術與物性分析。

(二) 高效能有機發光元件：

1. 低電壓、高能量轉換效率。
2. 光能粹取技術。
3. 高載子遷移率材料。
4. 高效率各色發光材料。
5. 歐姆接觸與有機導體。

(三) 高效能白光元件：材料與元件結構、照明應用技術。

(四) 有機發光元件可靠度：

1. 可靠封裝技術。
2. 高熱穩定性材料與元件結構。
3. 元件老化機制探討。

(五) 有機發光元件物理、模型與模擬。

(六) 有機發光顯示器技術：

1. 大面積均勻鍍膜技術。
2. 新穎大面積、高效率之畫素微細化與彩色化技術。

(七) 新穎之有機發光元件技術與應用。

(八) 其它有機光電元件基礎研究。

(九) 有機光、電元件積體化電路及技術。

(十) 有機/無機光電元件整合、應用。

三、參考文獻

- [1] H. S. Nalwa, Ed., Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers, Vol. 1-4, Wiley, 1994.
- [2] C.W. Tang and S.A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett. Vol. 51, pp. 913, 1987.
- [3] J.H. Burroughes, D.D.C. Bradley, A.R. Brown, R.N. Mark, K. Mackay, R.H. Friend, P.L. Burn and A.B. Holmes, Nature, Vol. 347, pp. 539-541, 1990.

- [4] IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 44, No. 8, 1998.
- [5] T. Sasaoka et al., SID proceeding, pp. 384, 2001.
- [6] R.M.A. Dawson et al, SID proceeding, pp. 372, 2001.
- [7] J.L. Sanford et al., SID proceeding, pp. 376, 2001.
- [8] G. Yu, J. Wang, J. McElvain and A.J. Heeger, Adv. Mater. 10, 1431, 1998.
- [9] G. Yu, Synthetic Metals 80, 143 ,1996.
- [10] C.W. Tang, Appl. Phys. Lett., Vol. 48, pp. 183, 1986.
- [11] C.R. Kagan et al., Science, Vol. 286, pp. 945, 1999.
- [12] H. Klauk et al, IEEE EDL, Vol. 20, pp. 289, 1999
- [13] C.J. Drury, C.M.J. Mutsaers, C.M. Hart, Matters and D.M. de Leeuw, Appl. Phys. Lett. 73, 108 ,1998.
- [14] J.H. Schon et al, Science, Vol. 287, pp. 1022, 2000.
- [15] N. Tessler et al., Nature, Vol. 382, pp. 695, 1996.
- [16] V.G. Kozlov et al., Nature, Vol. 389, pp. 362, 1997.

第七部分 太陽電池的發展

一、前言

目前太陽電池依據用途大致上可分為衛星用途，小型電器產品用途及電力供應用途。第一、二項市場較小也較早被開發，目前較難以期待有市場的成長空間，第三項電力供應用途則為目前最有市場成長潛力的部分，尤其在台灣對市電並聯相關的電業暫定法規成立後，市場成長的趨勢已更加明朗化。目前台灣的情況猶如 6、7 年前日本太陽電池推展初期，由此推算未來幾年內此一市場在政府對再生能源的補助下將有幾年發展的榮景，接著當太陽光發電成本對傳統能源接近時即進入引進加速期。為了確保屆時台灣相關產業的自主性，短期內必須加快步伐開發適合大量電力供應的低成本高效率型的體型矽太陽電池，否則將面臨目前產能過剩的日本製造廠商低價傾銷到我國。在長期規劃裡則開發低成本的薄膜太陽電池等次世代太陽電池以確保技術及促使引進加速期的到來，無論如何，台灣已無法以低廉人事費作為與先進國家廠商競爭的籌碼，必須鼓勵新技術的創造，如此才有可能在元件性能上有所突破而進而協助確保台灣廠商競爭力，反之若仍然是進行依樣畫葫蘆型的模仿技術開發，在先進國家市場裡無法得到技術優勢或是受限於專利的情況下，企業唯一生存之道仍是降低製造成本，造成生產線外移。

二、國內外發展狀況

先進國家向來對於環境問題較為敏感，且未來面對二氧化碳排放量的約束，對於太陽電池技術的開發極為積極。目前歐美日三地每年各有舉辦一場太陽電池元件相關的學會暨商展，從整體發表件數可感受到年年有越來越活絡的趨勢。發表單位中 90% 為歐美日等先進國家，若將發表內容再侷限於元件開發，我國或其他開發中國家發表件數可說頻頻掛零。即使偶而出現，也多是創新技術的開發。今後若不再積極鼓勵開發，即使我國描繪著綠色矽島的美麗遠景，未來關鍵技術及專利甚至產業還是落得被先進國家掌握的窘境。

在前言中提到國內太陽光發電系統的市場即將起飛，這時使用的太陽電池將是最成熟的太陽電池，也就是體型矽太陽電池。目前國外所

生產的單晶，多晶矽太陽電池的最高效率分別為 20%及 17%，國內則為 17%及 14%。日本廠商面對過剩的產能，正積極開拓國外市場，例如日本 Kyocera 太陽電池今年決定進入台灣，即期待台灣市場今後的大餅。面對國外廠商挾其先行優勢及優良技術以低價傾銷，國內廠商若無法在技術上提昇使效率達到與世界廠商相當，今後實在難以抵擋國外廠商攻勢。因此在未來至多兩三年內開發出可供量產的高效率體型矽太陽電池製造技術可說是當務之急。

若以長遠的角度來看，為搶得次世代太陽電池先機，也為促使引進加速期的到來，就有必要著手開發發電成本可望較低薄膜型太陽電池。目前被視為次世代太陽電池的有利候補有 a-Si, poly-Si, CIGS, CdTe, 色素增感式及有機薄膜。其中色素增感式及有機薄膜太陽電池雖然能達到將近 8%的初期效率，而且製造成本也可以相當低，但是壽命相當短，因此離商品化還有一段距離。在以下介紹其他上述薄膜太陽電池。

(一) Si：矽薄膜又可分為多晶矽及非晶矽。結晶矽太陽電池的理論效率達 28%，沒有劣化現象，對環境負擔小，可轉用 LSI 產業技術，因此近年來國外有不少單位投入開發。多晶矽薄膜太陽電池依照製程溫度可分為高溫製程及低溫製程。高溫製程可得到較大粒徑矽膜，效率可達 16%。缺點為生產力降低及基板材料受到限制。低溫製程太陽電池雖然製程較簡單，但過小的粒徑使其效率不及 10%。為解決此一問題，國外有多個產學界投入低溫製程大粒徑複晶矽薄膜太陽電池的開發。另外，低溫複晶矽薄膜太陽電池的製造設備與非晶矽太陽電池相容，有容易製造成多接面太陽電池的優點。目前 Kaneka Co.做出 a-Si/poly-Si/poly-Si 三接面薄膜太陽電池，並達到 12%的高效率。對於低溫複晶矽薄膜太陽電池製造目前有待解決的課題將會是沉積速率。由於結晶矽薄膜厚度達數 μm ，面對量產時需有足夠沉積速度。目前對於快速沉積方式有 hot wire 及 VHF-PECVD 等方式在開發中。除以上矽薄膜太陽電池以外，較特殊方式有利用多孔矽的單晶矽薄膜剝離技術，但缺點是一張晶圓能取得張數並不多，且還需要研磨，而這使成本提高。

對於非晶矽，世界上開發的歷史很長，但安定化效率卻始終無法改善而停留在 9% 以下。目前則傾向開發 a-Si:H/a-SiGe 多接面太陽電池以增加效率，安定化效率最高值為 9.5%。此方式特徵為可製造可撓式太陽電池，可創造新市場賦予附加價值。但是在電力市場中台灣地狹的環境裡若要應用為電力用途，將會增加設置成本。

(二) CIGS: 特徵為製程簡單，且效率可達 14%(100cm²)。目前 Siemens Co. 有在量產(~10MW)。原本最大缺點是元件中使用高污染元素 Cd，所以開發 Cd 的替代材料一直是最大的課題。然而今年 4 月，日本 Honda 宣佈獨自開發出不使用污染材料的 CIGS 太陽電池量產技術，據該公司宣稱，發電成本可能降到家庭電費以下，此對同業界帶來不少衝擊(詳細技術內容未公開)。此一方式的未來將面臨的缺點為產能擴大時的貴金屬 In 的來源及價格提昇。

(三) CdTe: 此方式亦可以低成本得到高效率太陽電池。惟高污染材料 Cd 的使用與環保背道而馳。且歐洲決定停止 Cd 產品的輸入也使市場受限。日本松下電器在 1999 年開發出量產技術後仍決定不予生產。

三、規劃研究重點：

- (一) 低溫多晶矽薄膜太陽電池的開發。矽膜結晶粒的大粒徑化技術、高速沉積技術、light trapping 技術等為關鍵技術，鼓勵獨創技術。
- (二) 量產型高效率單晶矽(多晶矽)太陽電池的開發。有必要從構造上創新以尋求效率的突破。例如：背面異質接面、表面及背面 passivation、表面 texturing、抗反射膜等技術的解析及開發。
- (三) 不使用 Cd 元素的 CIGS 薄膜太陽電池的開發。
- (四) 多接面式薄膜太陽電池的開發，譬如 a-Si/poly-Si、a-Si/CIGS 等。

第八部分 奈米光電分項

一、前言

奈米光電分項規劃係參考國科會九十一年六月出版”奈米國家型科技計畫”規劃報告之一部分，感謝國科會自然處高世平小姐提供資料。

奈米是對物質尺度的描述，1 奈米 (nm) 長度為 10^{-9} 米。在奈米尺度下，一般指介於 1nm 至 100nm 間，物質的特性，不歸屬於經典物理的巨觀 (macroscopic) 視界，也不屬於量子物理下的微觀 (microscopic) 行為，而是呈現所謂的介觀現象 (Mesoscopic phenomena)。在介觀尺度下，由於電子、光電、聲子自身與彼此之交互作用，材料、元件及系統會展現出顯著改善或全然不同的物理、化學及生物特性和現象。奈米技術主要目標即是藉由掌控原子、分子、或巨分子尺度的結構或裝置來探索這些特性，並有效率的製造或使用這些裝置。如何將奈米科技的特性，轉成實際應用進而產生具體經濟成效，是今日所有科技發展先進國家重視奈米科技最主要因素。

二、重點研究

奈米國家型科技計畫內容架構如下圖 1-1 所示：

計畫

分項計畫

子項計畫

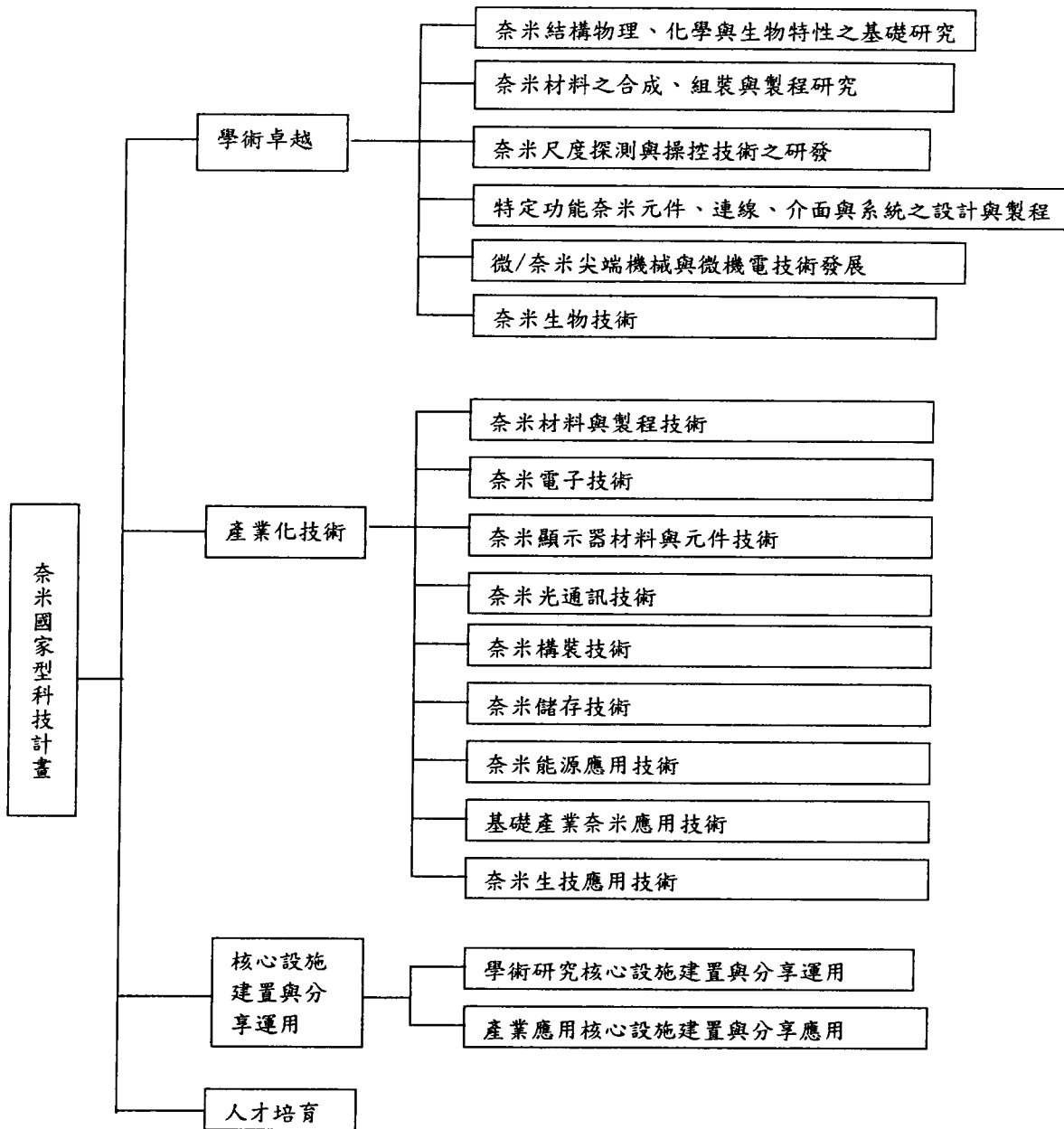


圖 1-1：奈米國家型科技計畫內容架構

「學術卓越」部分，由研究者本身所訂定的「自由創新」研究為主，而以「目標導向」型研究為輔，鼓勵研究者從事真正原創性的研究。透過設計一套具有國際競爭力的機制，吸引一流人才，並訂定一套可行的機制來評估研究成果，以確定未來的持續發展。

「產業化技術」發展的方向，為兼顧目前研究機構與產業界進行中

的活動，以及掌握未來奈米技術在研發和應用的潛力和產生重大突破的契機，依據產業分類與實際活動情形及未來國內奈米技術的產業化重點和突破項目等。

三、前瞻研究

重要奈米技術未來發展趨勢如下：

(一) 奈米材料技術：

材料科技是 21 世紀產業發展的原動力，也是整體產業之基礎，奈米科技為新材料的創出，提供新的方法，這些新材料不僅是更輕、更強，更具彈性而且是更具互動性、回收性及智慧。奈米材料的基本內涵是以奈米顆粒以及奈米管、奈米線為基本單元，在一維、二維和三微空間組裝排列成具有奈米結構的體系如奈米薄膜、奈米塊體，進而衍生出如奈米複合材料及奈米塗料等。這些新而獨特介觀性質的運用，將為產業帶來新機會、新產品、新特質，對產業的影響將是既深且廣。目前較具產業化機會的奈米材料包括奈米觸媒、奈米碳管人造超分子（Dendrimer）等。而為了能夠精確的操控，採取由分子本身，逐步由下向上（Bottom-Up）發展方式建構奈米尺度結構，自組裝（Self-Assembly）技術遂成為奈米材料技術中最關鍵的一環。

(二) 奈米元件應用技術：

奈米科技應用研發對奈米電子元件、奈米顯示元件、奈米光學元件、奈米儲存技術，其中奈米科技的發展對於半導體尤其深具意義，由於半導體元件的細微化，未來面臨的瓶頸，可能由此而得到解決，控制在奈米層次所製造出來的奈米電子元件，在元件密度、速度、耗能及成本上效益，將遠超過現有的半導體技術。

奈米碳管由於擁有發射電子特性（如低導通電場與高發射電流密度），可應用在顯示器與光儲存媒體應用上。奈米碳管結合場發射顯示（FED）技術，可實現傳統 CRT 平面化的可能性，不但

可以保留 CRT 的影像品質，同時兼具省電、高亮度、無視角限制、低成本與輕薄短小等優點，是最被看好的奈米顯示器應用技術之一。

奈米級之儲存技術上特點必須講求聚焦光點要足夠小，碟片上之記錄點要足夠小，光學頭飛行讀寫範圍非常小，其讀取訊號非常微弱，所以在奈米儲存技術需要突破包括奈米級光學頭技術、奈米探針場發射電子讀寫技術、奈米級刻版技術、光儲存媒體之奈米技術與奈米精密伺服控制技術等關鍵技術。

奈米科技在光電及光通訊的應用研發主要有：光子晶體 (Photonic Crystal)、格式化量子點 (Quantum Dot) 及奈米光學元件技術等。光子晶體 (Photonic Crystal) 是一人為製作之週期性介電質結構 (periodic dielectric structures)，由於光子晶體可藉由控制介質的排列週期、空間結構與介電常數 (dielectric constant) 等特性，而設計出特定光波，或改變光的特性，因此在光電應用上廣受矚目，其應用包括光波導、光纖、濾波元件及光半導體。量子點的磊晶成長方式透過分子自組裝技術，使分子主動組織排列成一種穩定的奈米級結構，InAs 量子點是一種半導體的奈米微結構，可將電子侷限在一個很小的尺度內，由於這種三維侷限所造成的量子化能階，在工業的應用上，目前著重在量子點雷射的開發、光學記憶體及紅外線探測器等。

(三) 奈米生物技術

奈米生物科技的主要方向係以生物分子為出發點探討相關之奈米技術，包括核酸分子字體組合系統應用於多維的構造控制、拓撲學、分子光電元件、電子傳遞、電子通道、奈米級感測陣列晶片；蛋白質分子自體組合系統應用於電腦及光學辨識記憶之分析應用、電子通道；脂質分子自體組合系統應用於人造細胞膜、微脂粒應用於藥物傳遞。奈米生物科技也亦包括以奈米材料特殊的光電磁特性為出發點，結合生物材料或生物技術，應用於生醫領域，如生物晶片、生物感測器的開發。在奈米技術的範疇裡，生物感測的方向將朝向仿生物 (biomimetic) 的目標發展。

(四) 奈米能源應用技術

能源科技為世界上最重要之技術之一，全球主要國家皆以能源之開發與利用為最大之國家目標之一。進入 21 世紀高科技主導人類需求的時代，人類對能源及資源的消耗將加劇成長，尤其是在現今“沒油沒電的恐懼”，更主宰著能源產業的發展。由於能源的短缺及環境污染的衝擊，為來如何能有效的提高能源的使用效率與使用潔淨或若易回收再生的能源將是能源領域的重要課題，其中對於如何有效的降低儲能元件製造上的能源消耗與增加其使用時間及效率將是重要課題。

四、一般研究

本奈米光電分項規劃係針對國科會奈米國家型科技計畫內容，跟光電相關主題提出說明，即在學術卓越部分為特定功能奈米元件，連線，介面與系統之設計與製造，在產業化技術部分為奈米顯示器材料與元件技術，奈米光通訊技術，奈米構裝技術，及奈米儲存技術。

(一) 特定功能奈米元件、連線、介面與系統之設計與製造

特定功能的奈米之設計與製造是目前全球奈米科技研發的共同挑戰，終究，只有奈米材料的開發是無法形成一個真正有競爭力的奈米科技產業。進一步的探討這個課題，我們很容易的就會發現，就算單一的奈米元件之功能再好，如果它無法與其他的元件連接，整合成一個線路乃至於形成一個系統，也是孤掌難鳴。因此，我們在規劃這個次領域時也包含了奈米連線、介面與系統，其中跟奈米光電規劃相關為量子點量子線光電元件。

當一個結構的尺寸小到與電子的波長同一等級時，電子的行動就會受到邊界條件的限制而使其動能量子化。如果電子因受限只能在一維通道內運動，這一結構就稱做量子線。如果電子僅能在三面被限制的空間運動，這依結構就稱做量子點。當電子能量是量化時，電子能因吸收光子而躍遷至較高能階或落到其基態而

放出光子。應用這些原理，量子點可做為一種光電元件，例如發光二極體或雷射二極體。半導體化合物如砷化鎵 (GaAs)、氮化鎵 (GaN) 等，具有較大的能隙可以作為理想的光電元件材料。理論及實驗證實，利用量子線或量子點製作的發光及雷射二極體能夠顯著改善其光學性能，例如較低的閾值電流及閾值電流對溫度具較小的依賴性等；此外，由於量子局域效應，可到至更加的非線性光學性能及發射性能。

目前量子點製程有幾種方法：例如以 AFM 或電子束曝光的微影技術在指定的位置製作量子點，但更常使用 Self-assembly Stranski-Krastanov (S-K) 生長模式的方法以 MBE 和 MOVPE 成長或選擇性成長量子點。這是利用基板和外延膜的晶格失配而誘導產生的，是為目前最成熟的量子點製程技術，但如欲與系統整合以製作可控制的元件時則仍需要微影技術的配合。以材料上來說，Si/Ge 的量子結構及發光元件可以結合目前的矽製程，也是未來具潛力的發展方向之一。

最近新發展出了一種元件稱為單光子元件，其可能的應用包括作為量子計算的位元 (q-bit) 和量子編碼學。目前已經有技術利用電荷的庫倫阻斷作用，製作多重半導體量子井，用為單光子的傳輸通道。量子點也是較有可能的單光子發射元件，利用單電子通道，將電子和電動一對對輸入半導體量子點中，使成為可供控制的單光子發射器。單光子學是單電子學走向光電整合的重要方向。

在國內現在已有幾個研究單位在發展量子點發光元件的開發製作，而且也都有很好的成就。爾後我們也許能朝更能控制電子點的位置與特性的方向發展。為達到此目標，負責長晶的研究群也許可與作微影製程的研究群合作，製作例如單光子元件或單光子檢測元件。

(二) 奈米顯示器材料與元件技術

平面顯示器為我國重點發展之主流產業，為能跟日韓顯示器產

業一爭高下，在未來六年應積極藉與奈米科技之結合，將平面顯示器產業技術推往前瞻創新方向研發，期能掌握世界未來技術發展趨勢。而發展主軸應朝捲軸式顯示器技術及大面積場發射顯示器技術之開發為主；關於捲軸式顯示器技術開發，第一期計畫即以整合型可撓式 TFT 基板為主軸，藉奈米混成基材技術開發「類玻璃」的可撓式基板再整合偏光、廣視角及配向等特性之技術，使 LCD 面板厚度可降至 0.5mm，具有輕型化、薄型化及低成本化之優勢。第二期計畫結合奈米液晶配向材料技術及可撓式 TFT 轉印技術，突破捲軸式顯示器材料、製程與檢測設備之技術瓶頸，領先日韓顯示器技術研發水準。關於大面積發射顯示器技術，應經由奈米技術的創新，並採用厚膜網印方式，FED 不但具有薄型、高亮度、高對比、廣視角、反應速度快、低驅動電壓、低功率消耗等性能外，且能朝 50 吋以上大面積及低成本製造開發，突破傳統 CRT 大尺寸之極限。未來朝低成本奈米碳管的量產進技術推進，並導入新穎模版型場發射原材料與製程及奈米材料場發設源元件之製作研究，以解決現存 CNT-FED 均勻性不良、高成本及壽命的問題。重要技術規劃如下：

- 整合性可撓式 TFT 基板技術：利用奈米微粒子與光的電廠向量間的交互作用，並透過奈米混成材料負荷技術之開發，完成高耐熱整合型可撓式透明基板技術。
- 捲軸式顯示器材料、製程與檢測設備之技術：突破傳統填充液晶方式，開發奈米液晶配向薄膜技術，採用非刷膜式配向技術，其中液晶粒徑小於可見光波長範圍，而液晶薄膜則以壓合方式以符合捲軸式製程，並建立整合型模組構裝材料技術，以達成捲軸式顯示器的目標產品。利用特殊奈米材料技術如自組裝、奈米複合材料及奈米結構材料技術將多層結構材料整合成單一多功能可撓式面版，以解決面板走向大型化、薄型化及高畫質化所面臨困難，而最重要的是大幅降低成本，以提升產業競爭優勢。
- 厚膜場發射顯示器材料及元件技術：著眼以創新奈米材料科技，開發型場發射源材料如奈米碳管的量產技術及可塗佈式場發射材料，配以低成本網印製程達到 50 吋以上大面積顯示器技術，期望經由奈米技術的創新並結合既有的整合製程，以解決

現存 CNT-FED 均勻性不良、高成本及壽命的問題，以應用在大面積顯示器。

(三) 奈米光通訊技術

奈米光通訊技術由於網際網路的發展，急需新的處理光訊號的方法及技術，尤其是在成本方面，現在元件的成本均相當昂貴，嚴重阻礙了光通訊產業的普及。目前造成光通訊元件成本昂貴的原因有許多，其中最基本的一個因素是由於處理光信號元件的體積相當的大，不能向電子元件一項能被大規模的集成，光通訊元件的製作成本也因此無法降低，嚴重阻礙了光通訊的普及。奈米光通訊技術可將現有元件的數個厘米尺寸縮小到數百個 μm ，適合用積體電路的方法來製造且可集成光電元件。如此可大幅降低光通訊元件高昂的成本，產生如同積體電路在點腦發展上所造成的影響，讓每一用戶能享受到光通訊所帶來巨大頻寬，不斷的經由 Internet，產生新的商機，進而改變人類的通訊方式與生活品質。

- 奈米光電技術可將現有的光通訊元件的體積減小 2~3 個量數級，並可降低成本及提高整體性能，其製程與設備依其應用之結構設計可分為半導體製程相容技術、有機自組技術、磊晶技術及奈米鍍膜技術。於理論模擬計算上除需建立光子能帶的計算方法外，尚須整合光波導及光奈米薄膜的計算方法。在實務應用上更可開發出許多新型的光子元件及提高原有元件之性能，如被動元件的 optical limiter、power splitter、microcavity、pump combiner；主動元件的 LD、LED 及 PD 等。
- 格式化奈米量子點技術主要在於微小化量子點之奈米尺寸型態及特殊的量子能量結構所產生的綜效功能的發揮。這種量子點技術，將不但延伸材料的應用範圍，同時也造成電能轉換功能提升及元件特性大幅改善等功能效應的顯著發揮。
- 自組奈米光電材料主要著重於材料結構微粒化/奈米尺寸型態極具自組能力之有機材料融合所產生的綜效功能發揮。由於有機奈米材料具有之高光電係數、高玻璃轉移溫度、高反射速率等優點，將造成光訊號傳導速率提升，材料穩定性高、元件製程簡化等功能效應的顯著發揮，如此之奈米概念應用技術將可為光通訊

被動元件新產品開發新契機。

(四) 奈米構裝技術

在構裝技術上，有機材料經常被視為降低成本之主要構裝材料之應用方向，但在物理特性上確有易吸濕、耐溫性差、受熱易膨脹、電氣損耗大及介電係數調變範圍小等缺點。通常可加入適當比例之微細無機材料進行改質，但亦容易產生材料脆化、加工性不良及流動性不佳之副作用。然而使用超微細顆粒之奈米粉體或奈米層狀材料卻可突破傳統材料及製程極限達到耐吸濕、耐溫性、低電氣損耗。在介電係數上可配合需求，至做出超低介電性及超高介電性材料。再則如超導電性高分子聚合物，因其場效奈米結構，使導電度大幅提昇。運用上述之奈米構裝材料，結合製程技術，建立設計核心技術能力，將可使國內電子構裝產業脫胎換骨，擺脫過去以怠工為主的產業型態，度福提昇我國構裝產業之整體優勢。相關重要工作說明如下：

- 奈米構裝設計與製程：在電子或通訊產品輕薄短小、高可靠度、多功能化之需求下，採用高密度皆合計功能性基板技術。將奈米電阻、電容、電感、濾波器等被動元件內藏化的功能性基板，為現有電路版技術的延伸，可促使電路板從界面接合的角色，突破為功能性元件，符合電子或通訊產品之需求；且奈米高低介電材料、奈米高電感率材料若研發成功，將可打破這些關鍵材料由國外廠商所壟斷之局面，並促使我國 PCB 構裝產業技術提昇通訊產業在未來國際的競爭力。
- 奈米構裝技術：為因應未來高速高頻元件及全方為功能整合型元件的世代需求，高密度構裝與系統構裝 (SIP) 等高階先進構裝技術將成為市場推動的主流，其關鍵技術包括可消除熱應力微小化導體連接線、元件內建之構裝基板、微晶片精密定位等，因此高速高頻元件為連接奈米材料與全方位元件功能整合型奈米基板材料的總體佈署與開發，著實重要與迫切。配合系統構裝 (System in Package; SIP) 之新世代構裝技術，且契合高速高頻、多功能、可攜式通訊及光電系統產品的發展趨勢，全方位佈署開發具特異機能奈米表面為材料、奈米超低介電材料、奈米有機超導材料、

自動嵌入陣列式及類神經智慧機能型奈米連接材料、低無機添加量、高介電常數與低介電損失之混成和層狀內藏式電容材料，奈米晶界調控元件，以及奈米磁區材料/元件技術等，用以建立超高速高頻元件微連接奈米材料及全方位元件功能整合型奈米基板材料技術，以因應超高速高頻與全方位元件功能整合型元件之先進奈米構裝技術的世代需求；同時，能達到落實材料技術自主化並紮根於國內的目的，且開發具前瞻性計數與創新性產品，提昇國內產業技術研發水準，並建構更加更好的產業發展環境，以擺脫對美、日等國技術與產品的依賴，期能藉由新世代材料與製程技術的提升，跳脫低層次產品與分配代工的形象，進而擠身列入高科技領導國群之中，為我國的科技未來，開創新的契機。

(五) 奈米儲存技術

奈米儲存技術主要從目前 DVD (4.7GB) 和 HD-DVD (20-25GB) 之傳統技術，做跳躍式思考未來 5-10 年之儲存技術 (容量高達 100GB-1TB)，其主要技術有光學頭、光碟片、刻板技術。就光學頭讀寫記錄將由傳統遠場技術走道近場技術 (100 nm 以下)，所已有光學是和探針場發射式之近場紀錄。另一方式為結合光記錄和詞記錄之優點成為光寫讀技術 (其記錄點為 60 nm 以下)，此外，近場效應可設計在碟片結構中，有超解析近場光碟片技術方式。對應微小記錄點 (60nm) 以下之刻版技術，目前有三個方式：光學式 (LBR) 刻版、掃瞄式探針顯微鏡刻版和電子束刻版等技術方向，此外必須開發是用之光碟片新材料及相關伺服控制技術 (控制精度 35 nm 以下)，最後由平面之記錄將走向 3D 儲存技術：多層技術和全像式晶體 (層與層距離在 20nm 以下) 均是可能的方法。因此，在奈米儲存技術，主要規劃五大方向做技術突破：

- 近場儲存技術 (Near-Field Recording)
採用近場技術，使得聚焦光點超過繞射極限達到 0.1 μ m 以下
- 光寫磁讀技術 (Optical Write/ Magnetic Read)
結合光學頭寫入及 GMR/GMI 磁頭讀取之優點，使得讀寫技術達到 Min. Pit Length < 60 nm 以下
- 光碟刻版技術 (Mastering)

採用光學式刻版、SPM 刻版、e-beam 刻版做技術開發，使得 Track Pitch < 60 nm 以下

- 超解析近場光碟片技術

突破光學繞射極限之新型遮罩材料開發及奈米級晶粒化記錄材料極高傳輸速率材料技術，使得記錄點達 < 60 nm 以下

- 3D 儲存技術

開發螢光奈米分子多層技術及新型螢光材料技術及全像多層記錄技術，使得記錄容量大幅提昇。

五、產業技術研究概況

奈米科技，將是二十一世紀科技與產業發展最大的驅動力，不僅使科學與技術領域創新事物的可能性變的無可限量；奈米科技正在創造新一波的技术革命與產業，他對人類生活的影響將是全面的，不僅將改變我們製作事物的方法，同時也會改變我們所能製作事物的本質。預測未來奈米科技所產生的新材料、新特性及其衍生的新裝置、新應用及所建立之精確量測技術的影響，將遍及儲能、光電、電腦、記錄媒體、機械工具、醫學醫藥、基因工程、環境與資源、化學工業等產業。這也就是為何美國總統科技顧問 Dr. Neal Lane 在 1998 年於美國國會聽證會時提及：「如果問我科學與技術領域最可能產生的明日之星，我會指向奈米科學與技術。」；諾貝爾物理獎得主 Horst Stomer 也指出「奈米科技提供我們新的工具來操控自然界最極致的玩具箱-原子與分子。透過結合這些工具與原子尺度下的自組性行為，讓我們得以融合化學與生物學，創造新的事物與製作人為定義的材料結構，建立了令人驚嘆、無止境的機會」；諾貝爾化學獎得主 Richard E. Smally 教授於 1999 年 6 月 22 日美國參議院的奈米科技聽證會上強調，「奈米科技對未來人類健康及生活福祉之貢獻絕對不亞於本世紀微電子產品、醫學影像、電腦輔助工程、人造高分子等總合貢獻。」Zyvex 公司 Principle Fellow Ralph Merkle 在聽證會上亦作證說明「奈米科技將完全取代目前所有生產製程而開發出更新穎、更精準、更價廉、更具彈性之產品製造技術」；美國 IBM 公司首席科學家 John Armstrong 表示「正像二十世紀七十年代微電子技術產生了資訊革命一樣，奈米技術將成為下一世紀資訊技術時代的核心」。這些看法皆顯示奈米科技的重要性，沒有一個國家，一個公司可以輕忽它的重要性，也因此必須有整體策略面的推動。

美國產業預估十至十五年後，以奈米技術形成的產品市場價值將可達到每年一兆美元的規模，若以產業區分，材料、半導體、醫藥品、化工、航太及量測與模擬等皆可成為奈米技術應用對象產業，其中的材料、半導體、醫藥品三項產值將具有超過 8,000 億美元的市場潛力。日本日立總合研究所則更積極且明確提出，2005 年日本應用奈米技術之產品產值規模則可超過 133 兆日元。也因此，各先進國家均將奈米科技列為最優先的研發領域。

科技乃國家經濟成長之重要推手，我國不斷藉由科技的提升，帶動經濟的發展，觀諸世界各先進國家發展經濟的歷程，也都是以技術進步來推動經濟的發展。從我國整體產業結構來看，未來如何掌握知識經濟時代創新的特質，從大規模及標準化的生產模式轉型到注重設計與創新價值，奈米科技實為台灣產業下一波發展的重大威脅與轉機。我國應集中全國資源，深耕我國迫切需求的重要奈米科技，並快速地擴散奈米科技研究至產業界，以提升我國整體科技及產業實力，期望奈米科技可以成為台灣整體產業繼續前進的新火車頭，使得我國既有的優勢產業競爭力得以再一次躍升，而基礎產業也得以轉型與升級。

肆、量子電子學與雷射科技

潘犀靈教授、謝文峰教授、賴暎杰教授

孫啟光教授、黃衍介教授、黃升龍教授

一、前言

所謂量子電子學泛指利用量子力學原理的電子元件之研究，這個領域的歷史悠久，源自 50 年代 Townes 等人首先研製成功的 NH_3 分子微波振盪器，此類元件是利用原子或分子能階間的受激輻射來獲得具高度同調性之電磁波之放大與振盪，即 maser；maser 是英文 microwave amplification by stimulated emission of radiation 字首的縮寫。在光波頻率，應用同樣原理的第一台紅寶石雷射 (laser，即 light amplification by stimulated emission of radiation)，在 1960 年由 Maiman 首先研製成功。四十餘年來，雷射科技有飛躍的進步，也日趨成熟。在很多應用上，諸如電子、資訊、多媒體、通信、生物科技及醫藥衛生科技上均扮演了關鍵性角色，可說是光電科技的核心。由於雷射技術在整體高科技產業中扮演著關鍵性組件的地位，因此雖然雷射產業本身的產值只有約 50 億美金，其附加價值卻是以數十倍計，各國政府莫不大力推動，以保持國家競爭力。

目前，量子電子學與雷射科技領域仍有多元化的快速進展。在其主要研究方向中，考量我國國情與資源，建議以 (1) 先進固態雷射；(2) 超快光學與光電子學；(3) 非線性光學材料與元件；與 (4) 量子光學等為重點發展之主題。

就雷射本身的研究而言，重要的雷射的種類很多，其中氣體、染料、自由電子等主要雷射類別，國內研究的學者不多，而半導體雷射與光纖雷射分別是光電子與光纖與波導領域之發展重點，在各該領域有詳盡的說明，在本章中，擬以固態雷射為重點討論對象。在各種雷射中，固態雷射始終以其優質之光學模態及提供高峯值功率著稱，迄今各式材料的精密加工，仍是以固態雷射為主，為了拓展其應用領域，使其更加深入我們的生活，近年來許多先進的材料及雷射技術被開發出來，擴展了雷射的發光波段，由深紫外光、紫外光、可見光、近紅外光乃至紅外光，與此同時，在雷射效率的提昇、體積的縮小及成本的降低上，亦有長足的改善，這些先進的固態雷射技術，將可大幅擴展其應用領域至：雷射顯示器（如：大螢幕電視、投影機、雷射劇院） [1]、微細加工、精密定位、高解析度印刷、光纖通訊、下世代半導體微影光源、醫學檢測與治療、高密度資料儲存等。

在固態雷射中，以半導體雷射激發之固態雷射，結合了半導體雷射輕、薄、短、小的特性，及固態雷射的高品質輸出橫向、縱向模態、高峰值功率等優點。相對的，傳統的閃光燈激發固態雷射及氣體、染料雷射的效率低、體積大、或者需要高壓、水冷，因此在許多應用領域均可由半導體雷射或以其激發之固態雷射取代，尤其自 1990 年代中期起，商品化之高功率半導體雷射非常成熟且價格低廉，更是帶動了半導體雷射激發之固態雷射的蓬勃發展 [2-4]。不論以三元化合物或四元無鋁化合物半導體為活性區之半導體雷射均可達到 1 萬小時以上之生命期，四元無鋁化合物半導體雷射更可達到大於 18 MW/cm^2 之損害閾值，而在亮度的提昇上也有不少進展，由以往 $100\mu\text{m}$ 活性區寬度可產生 1 瓦到目前的約 4 瓦。在雷射陣列 (laser diode array) 的發展上，也由 1 公分寬陣列出 10 瓦，到目前的約 60 瓦。在使用的半導體雷射波長上，大多是介於 630 至 1100 奈米的範圍，主要由增益介質之活性離子決定，雖然釹 (neodymium) 離子仍是目前使用最廣的活性離子但三價鐿 (ytterbium) 離子及四價鉻 (chromium) 離子受到愈來愈多之重視。近五年來，這種半導體雷射激發之小型固態雷射的應用領域更快速的被開發出來，小者如：綠光指示器；大者如：基因定序、火星地表高度成像、衛星間通訊，尤其是其體積可做到如小拇指之一指節大小，而產生數十毫瓦之紅、綠、藍可見光，未來潛力不可限量。

本章討論的第二個主題領域是超快光學與光電子學。所謂超快光學泛指對超快雷射脈衝之產生、調制、偵測、傳播與應用之研究，而超快光電子學的研究主題則是利用短脈衝雷射產生快速的電訊號，及此超快電訊號之調制、偵測與傳播與應用之研究。1970 年代末期飛秒雷射的誕生促進了超快光學與光電子學的發展。時至今日，超快光學與光電子學的進展遠超過人們的預期，唯一能限制此領域的發展的因素，只剩下我們有限的想像力。目前人們可直接由雷射產生短至 5 飛秒 ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ sec}$) 的光脈衝；而最短的光脈衝已突破飛秒極限，短約數百埃秒 ($1 \text{ attosecond} = 10^{-18} \text{ sec}$)。在另一方面，光激發 THz 輻射技術可用以產生及偵測同調 THz 輻射至 40 THz。這個領域是目前光電研究的尖端領域之一，已被廣泛應用在各種與尖端技術的發展，例如兆位元光纖通信系統、非侵入式醫學診斷與治療、奈米音波產生與控制、次毫米波技術、高密度光儲存、高精密度微加工、遙測與污染防治、國防工業、甚至分子的量子操控、高能與相對論物理等尖端物理化學研究。日本政府為了能加速此一次領域產業技術之發展，在通產省下設立產官學合作之飛秒技術研究機構 (Femtosecond Technology Research Association, 簡稱 FESTA)，專職於超快光學與光電子學領域技術之發展。

本章討論的第三個主題領域是非線性光學材料與元件。當物質受到(特定)

電磁波激發而產生非線性響應時，這種物理現象或過程就屬於非線性光學的範疇了。非線性光學涵蓋了極多光及物質作用有關的有趣現象。比如說，第二階非線性光學的存在主導了如光折變效應、電光調變、二階諧波產生、光參量混頻等非線性現象；而第三階非線性光學的存在則引發了如拉曼散射、布理宛(Brillouin)散射、四波混頻、自聚焦效應、光孤子(soliton)脈衝傳播等非線性現象。再者，隨著高功率雷射源的問世，更高階的非線性效應也已被運用在產生同調的 x -光上。

非線性光學已廣泛地應用在我們的生活上並產生了許多重大的影響。在光通訊上，光電效應被用來作信號的編碼及解碼，光孤子脈衝被應用在保持信號不隨時間傳播而色散的問題，拉曼放大現象可用於維持傳輸信號的大小，但是一些未抑制的非線性現象如四波混頻反而可能導致通訊波道的交互干擾。其他的應用如光譜學、環境感測、雷射醫療、及雷射加工等則皆仰賴非線性光學技術使雷射波長具可調性。也因為廣泛波長可調雷射源的缺乏，非線性光學的技術發展提供了最實用的方法實現波長可調的雷射。因此可以說，非線性光學協助了所有需波長調變的應用。

本章討論的第四個主題領域是量子光學。量子光學是一門很廣的研究領域，在其中研究人員使用種種的理論及實驗工具來研究發生在光與各種物質的交互作用中之各種量子光學現象與效應，並探討如何利用這些效應來發展各種實際的應用。量子光學也是一門跨學科的研究領域，包括光電、電機電子、物理、材料等學科都有可會觸及到量子光學方面的研究。量子光學也可形容為「光學中的奇異世界」，在其中的量子光學效應與古典光學中的效應相比往往會有出人意料的不同。最廣義意義下的量子光學可大別為兩大類，第一大類是所謂的「非古典光學」，在其中所研究的光與各種物質之交互作用中，物質的部份需使用量子力學來處理，光的部份則仍可使用古典的 Maxwell's Equations 即可。換言之，在此大類下所研究的光與物質之交互作用中，主要感興趣的效應是來自物質本身的量子效應，光本身的量子效應則不產生特別的作用。這一大類的「非古典光學」其實已經包括了大部分在雷射物理、非線性光學、原子光學、各種材料光學內的研究。

量子光學中的第二大類，也就是所謂的「全量子光學」，這事實上就是一般狹義意義下的「量子光學」。在其中所研究的光與各種物質之交互作用中，除了物質的部份需使用量子力學來處理外，光的部份也需使用量子力學來處理。換言之，在此大類下所研究的光與物質之交互作用中，主要感興趣的效應是來自光本身的量子效應，當然物質本身的量子效應仍然會起著重要的作用。

本章的架構如下：在第二及第三節中，我們分別討論本領域的重點及前瞻研究方向。

二、重點研究方向

(一) 先進固態雷射

固態雷射技術發展的核心，主要為以下三方面：雷射主材 (host material)、活性離子(active ion)及光學架構。近年來這三部分均有非常快速的發展，因而帶動了學術界及產業界之開發熱潮，使得這種雷射體積愈來愈小、生命期愈來愈長、效率也愈來愈高，從而大幅擴展了其應用領域，以下分別介紹這三部分之發展狀況：

1. 雷射主材之改進

雷射主材一直以來，是以氧化物晶體，如：YAG ($Y_3Al_5O_{12}$) 及 Sapphire (Al_2O_3) 為主流及適用於較短波長的氟化物晶體，如：YLF ($LiYF_4$)，LiCAF ($LiCaAlF_6$) 等。雖然在材料成分的進展不大，但在材料的結構卻有相當大的進展，用以提昇雷射特性、縮小體積及降低成本。較顯著的進展有陶瓷主材的發展、晶體擴散接合(diffusion bonding)及波導雷射。在陶瓷主材的部分，長久以來其光學損耗很大，因此不適用於雷射主材，但近二年來，在日本學術界及產業界的合作下，已成功的利用奈米及真空燒結技術製造出高透明的 Nd:YAG 陶瓷，其雷射特性比 Nd:YAG 晶體毫不遜色，此項技術對未來大尺寸、高功率雷射的研製，乃至材料成本的降低都可有相當大之助益，不過此技術只適用於正方晶系的主材。在晶體的擴散接合上，目前有二大應用方向，利用摻雜及未摻雜的雷射主材之擴散結合可大幅提昇雷射的散熱效率，適用於高功率固態雷射，而將雷射晶體及非線性晶體做擴散接合，則大幅縮小雷射體積，尤其是在可見光及紫外光波段。在波導雷射的發展上，可分為平面波導及柱狀波導二方面，在平面波導上，當採用擴散接合技術，目前波導雷射已可產生 TEM_{00} 模態之高功率雷射，在柱狀波導上，玻璃光纖雷射在 980 nm 及 1550 nm 等光通訊波段，有相當大的進展，尤其是以多模 F-P 半導體雷射激發，亦能產生高效率的單模輸出，而晶體光纖雷射，亦在斜率效率上，獲得很大突破，已可做到體積 (bulk) 材質的一半，這對固態雷射在材料成本的降低及散熱效率的提昇上，均可有很大助益。

2. 活性離子

活性離子對雷射的效率及發光波段有決定性的影響， Yb^{3+} 由於具有高量子效率、可高摻雜於 YAG 及大於毫秒之自發輻射生命期，因此近年來受到廣泛的重視，未來有可能大幅取代 Nd^{3+} 的地位 [5-6]。 Cr^{4+} 在 90 年代主要是用於被動 Q 開關以提昇雷射之峰值功率及縮小體積，近年來，隨著光通訊之成長及無水光纖 (water-free fiber) 之問世，其 1.3~1.6 μm 之寬頻增益，將有極大潛力可用於光通訊光源，如放大自發輻射光源 (ASE source)，可調波長雷射，及寬頻放大器，因而逐漸受到廣泛重視 [7]。

對上轉換雷射 (upconversion laser) 而言，其活性離子通常為鈦、鉬、鏷用來產生綠光雷射，或以鈦、鏷產生藍光雷射，其優點為它對半導體激發雷射的波長要求不高，用一般的 F-P 雷射即可，但缺點則是效率較低，且不易做的太小，長期穩定性也有待提升，近來 $\text{Er}^{3+}:\text{LiLuF}_4$ 上轉換雷射之效率大幅提昇，接近腔內倍頻雷射，且 LiLuF_4 為共融晶體生長速度快，適宜量產，未來有相當大之潛力 [8]。

3. 共振腔架構

在共振腔的架構上，環形共振腔 (ring cavity) 可說是確立它產生單縱模輸出的優越性，不論是長期穩定性或輸出功率均比線性共振腔為佳，目前商業化生產之單縱模固態雷射均是採用環形共振腔。在高功率雷射的散熱上，碟片雷射 (disk laser) 架構已被廣泛應用了，以此一架構，對四能階 Nd 雷射，已產生大於百瓦的輸出功率；對準三能階 Nd 雷射，亦產生大於五瓦的輸出功率，可說是克服了準三能階雷射再吸收損耗的問題。

4. 頻率轉換

經由非線性光學技術來擴展固態雷射的發光波段亦是重要的發展方向，在體積非線性晶體 (bulk nonlinear crystal) 的發展上，近 20 年來有長足之發展，由 1976 年的 KTP (KTiOPO_4) 適用於綠光，到 1980 年代後硼酸鹽晶體的興起，如 1983 年的 $\beta\text{-BBO}$ ($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$)，1989 年的 LBO (LiB_3O_5) 適用到藍光及紫外光 [9]。在紅、綠、藍全彩雷射的開發上，小型固態雷射更具有極大之優越性，以 $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ 為例，只要這一種晶體，經由倍頻便可產生紅 (670.5 奈米)，綠 (532 奈米) 藍 (457 奈

米) 三原色, 且激發用的半導體雷射也只要 808 奈米一種波長, 因此相當容易可經由三個發光區的雷射陣列而整合在一起, 形成一小型的全彩雷射。對 40~50 吋以上之彩色顯示器, 這種小型固態雷射不但具有較高的色彩飽和度, 較高的解析度, 且比起其他大螢幕顯示技術, 非常具有價格上的競爭力。在紅、綠、藍全彩雷射的開發上, 除了以增益介質的紅外光輸出加以腔內或腔外倍頻外, 另一發展趨勢便是使用自倍頻雷射晶體, 如 Nd:YAB (Nd:YAl₃(BO₃)₄), Nd:YCOB (Nd:YCa₄O(BO₃)₃), 或 Nd:GdCOB (Nd:GdCa₄O(BO₃)₃), 利用增益介質的的基材直接產生倍頻光, 如此光學系統可簡化不少, 但此類增益介質, 或因生長不易, 或因散熱不佳, 或因 Nd 參雜濃度不易提昇, 因而尚在研發材料階段, 離實用化還有一段距離。以小型固態雷射來產生紅、綠、藍三原色, 其中以藍光的部分較為困難, 因為對紅光及綠光而言, 均是四階雷射, 而對藍光而言則是準三階雷射, 使得雷射閾值較高, 且需要較佳之溫控, 此外晶體鍍膜也因為要同時對多個波段有特別之反射率要求而較困難。

對紫外光到深紫外光波段, 即 Nd:YAG 雷射的四到六倍頻, 非線性材料的可靠度是很難突破的瓶頸, 目前祇有中國大陸及日本有持續之研發, 較重要之晶體有 1995 年之 CLBO (CsLiB₆O₁₀), 1996 年 KBBF (KBe₂BO₃F₂) 及 1997 年之 LB4 (Li₂B₄O₇), 但生命期均不足 1000 小時, 尚待繼續研發改進, 值得關注的是 LB4 可以共融(congruent)生長, 因此有不錯的量產機會。

小型固態雷射的光輸出模態佳, 波長涵蓋範圍廣, 峰值或平均功率大, 可說是非常理想的光源, 主要的缺點是價格較高, 其中半導體雷射激發光源、增益介質晶體、非線性介質晶體是主要的成本來源, 因此, 如何繼續提昇品質、降低成本並擴展應用領域、提高附加價值, 是未來重要的發展方向 [10]。

(二) 超快光學與超快光電子學

本領域在全世界發展的現況, 大致可分為 1. 飛秒雷射光源與量測 2. 高速光資訊與光通信技術 3. 醫療與生命科學技術 4. 微結構製造技術 5. 兆赫波科學與技術 6. 強場科技 7. 基礎科學研究等主要課題。

1. 飛秒雷射光源與量測

超短脈衝雷射的發展造就了整個超快光學與光電子學研究領域。近十年來飛秒雷射科技的快速進展, 已經成為許多研究領域所不可或缺的工具, 它不僅是尖端非線性光學以及時間解析光譜學的基礎, 在許多

新的研究領域更有令人驚嘆的應用，例如孤立波通訊、兆赫光電子學、微結構製造、多光子顯微術等等。最近飛秒雷射更是被用為精確頻率尺，用來校正最精確的原子躍遷。目前研究方向除了尋找新光學波段的雷射光源外，體積縮小、脈衝能量加大、追尋最短脈衝、增加重複率、多波長輸出、脈衝形狀控制技術都是目前世界上技術發展的重要方向。在體積縮小上，除了在光學鍍膜上最近有長足突破外[11,12]，半導體雷射與光纖雷射都是重要發展方向[13,14]。在雷射脈衝能量方面，由於將能量壓縮在極短的時間與空間中，因此其電磁場大小與瞬間最大功率均極大，可創造出前所未有之強場(在 10^{15} W等級)，以從事各式強場研究[15,16]。在追尋最短脈衝上，目前在紫外光波段已可產生短於1飛秒(10^{-15} 秒)的光脈衝而將飛秒時代推進到次飛秒時代[17]。增加重複率[18]與多波長輸出[19]則是為兆位元通信之需求。脈衝形狀控制技術則是在發展光學同調與量子操控技術[20]。

由於所產生之光脈衝寬度僅有數十飛秒甚至不到1飛秒，以現在電子儀器的速度(速度不夠快)還無法量測。因此以純光學方式發展高速量測技術就變得非常重要。現有技術已經可以完全量測其不到十飛秒光脈衝的絕對形狀與顏色分布[21]。類似量測技術也被應用於量測高速電子信號。以超快技術發展之光電示波器，目前可達到兆赫頻寬，是純電子示波器頻寬極限的十倍以上。

2. 高速光資訊與光通信技術

超快光電子學研究的重要發展方向之一，在解決兆位元通信時代之光電技術需求。在未來10至20年中，大家普遍預期由於網路與通信頻寬增加，光纖傳輸、轉換、資訊儲存量、與計算等需求將暴增，電子資訊傳輸量將增為目前之百倍以上。目前美日歐等先進國家均想盡辦法尋求更有效增加頻寬之方式，而10至15年內大家所熟悉之“giga”(10^9)性能將提升為“tera”(10^{12})性能。目前主要發展之核心技術包含：高重複率多波長光源[18]、高頻寬與高輸出之光偵測器[22]、10兆位元骨幹網路[23]、千億位元區域網路、每秒可處理兆位元資訊之電腦、超高速電腦資訊連結(每秒千億位元)、與10兆位元光儲存。目前這些超快光電技術正面臨技術挑戰，而以上這些科技之突破，正是日本通產省飛秒技術研究機構與NTT與AT&T等技術發展之目標，也是超快光電子學研究之重點。

3. 醫療與生命科學技術

飛秒雷射技術目前被廣泛應用於生物醫學研究，以從事非侵入式醫學診斷與治療、高精準度生物光剪(如切割染色體)、判讀DNA序列、

基因工程、與單細胞內生物反應與光化學反應之高速操控甚至單細胞內之雷射手術。主要技術包含多光子螢光術[24]、倍頻顯微術[25]、時域解析螢光顯微術、多光子三度空間光剪[26]、與高解析度光學同調斷層術[27]。

4. 微結構製造技術

利用超快雷射高瞬間功率之特性，超快雷射被應用於光學雕刻與製造，其精準度超越非超快雷射之其他光學製造技術。例如日本已成功以超快雷射技術雕刻出不到 $5\mu\text{m}$ 大的牛模型(比一個細胞還小)[28]。另外超快雷射亦被用於控制製造過程之光化學反應。超快技術之發展將有助於光學製造技術水準之提昇[29]。

5. 兆赫波科學與技術

利用超快光學與光電子學技術，目前已可有效的在有限之空間內，成功產生兆赫波(次毫米波)，並成功利用超快方式完成兆赫波之接收與偵測[30]。由於這些進展而促使兆赫波光譜學與兆赫波影像技術之蓬勃發長[31]。由於兆赫波具有偵測分子之能力同時具有極寬之電磁波頻寬，因此兆赫波科學將對未來超寬頻無線通信與分子影像偵測具有極大影響。例如兆赫波影像技術將可取代目前機場之X光系統照出炸藥、炭疽熱病毒等分布影像。

6. 強場科技

飛秒科技的潛力不僅在於其超快的時間尺度，更在於其超高尖峰功率。利用寬頻固態雷射增益介質以及雷射啾頻脈衝放大技術，產生尖峰功率高達數十兆瓦到百兆瓦的雷射脈衝已成為可能，聚焦之後其光強度可以超過 10^{20} W/cm^2 。在這麼強的光場之下，物質與光的交互作用達到過去從未能夠探索的境界，因此飛秒科技拓展了物理研究的領域[15,16]，並且正在創造過去難以想像的應用，例如高諧頻產生、桌上型X光雷射、雷射驅動電子加速器、次飛秒X光源、實驗室天文學、光控核融合反應爐、高能電磁子彈、大氣遙測、閃電防治、以及加速座標系與彎曲時空的特性研究。

7. 基礎科學研究

由於其超快的時間尺度，與超高尖峰功率，超快光學技術目前正被廣泛應用於各種基礎與應用科學研究，包含超快電子學[22]、生物化學反應[32]、超快現象觀測[33]、奈米聲子技術[34]，甚至用於同調與量子控制[20,30]生物、化學、半導體、輻射波之過程與形狀。

(三) 非線性光學材料與元件

一般而言，非線性光學作用過程要比線性光學作用過程需要更高的交互作用光功率。就給定一個雷射功率情況下，導致或增強一非線性光學作用過程要從增加作用物質的非線性係數及加強作用光波的藕合性著手。增加非線性係數牽涉到製作及開發新的非線性光學材料，而加強作用光波的藕合性則得仰仗開發先進的非線性光學元件。以下僅就材料與元件分別討論。

1. 非線性光學材料

極高的第二階非線性係數可經常見於一些有著強給體-受體偶極子交互作用之有機共軛分子材料。有機鹽類，DAST[35]就是一個典型的例子，並已證實是一種高效率的兆赫波(THz)雷射產生物質[36]。

由於准相位匹配非線性光學技術的成熟，無機晶體如鈮酸鋰(LiNbO_3)、鉬酸鋰(LiTaO_3)、鈦氧磷酸鉀(KTP)等已變得日益重要。鈮酸鋰的光學穿透範圍在 400 到 4000 奈米間。與鈮酸鋰相比，鉬酸鋰之穿透範圍更可到達紫外範圍，但其非線性係數比較低。鈦氧磷酸鉀與其同質異構物鈦氧磷酸鉍(RTA)、鈦氧磷酸鉍(RTP)也有著較低的非線性係數。然而，時常用於准相位匹配非線性光頻轉換的共熔組成(congruent)鈮酸鋰及鉬酸鋰晶體卻存在著對較強可見光及近紅外光有光折變損害的現象。此外，綠光引發紅外吸收的現象也阻礙了以共熔組成鈮酸鋰為可見光准相位匹配雷射元件的發展。最近的研究顯示，以氧化鎂或氧化鋅等雜質摻雜於共熔組成或化學劑量組成(stoichiometric)鈮酸鋰或鉬酸鋰晶體可以減輕這些問題[37,38]。

許多的研究正在投入找尋新的非線性光學材料用來產生雷射波長短於 400 奈米或長於 5000 奈米。最近的報告顯示已可在碲化鎂內混波有效率地產生太赫茲波[39]。而於此領域受到注目的新材料，鍍磷化鋅(ZGP)，也可用於產生商業級品質的 2-12 μm 範圍波長[40]。另外，碲化鎂是一個相當好的准相位匹配非線性光學材料用於產生波長大於 5 μm 的光波。然而它在以擴散接合的准相位匹配區間介面上仍有過大的損耗。雖然良好品質的碲化鎂准相位匹配晶體結構可以取向附生(epitaxial)的方式生長，其可長成的最大厚度仍甚小於一般毫米級光斑大小的雷射入射光束[41]。在產生較短波長方面，以電漿高階諧波產生方式已成為較熱門的研究領域。由一高功率、超快雷射驅動電漿中非線性偶極子而產生之有質力(ponderomotive force)已可將雷射波長縮短至 x-光範圍[42]。然而，如何於電漿中達成相位匹配及聚焦等效果至今仍是個議題。

2. 非線性光學元件

如前所述，就一給定之入射雷射功率而言，其中一個能夠導致有效率的非線性光學作用過程的方法便是開發一個能提供交互作用波間強藕合的精妙結構。近來熱門的准相位匹配非線性光學技術係巧妙利用調變物質的第二階非線性極化結構來達成使用該物質之最大等效非線性係數目的。利用准相位匹配技術已經可達成單一波長、多波長、窄線寬或寬頻等雷射輸出。由於准相位匹配結構的富立葉轉換即是所產生的雷射頻譜的轉譯，換句話說，一所欲產生之雷射頻譜皆可利用彈性設計對應到一最佳的准相位匹配結構。

另一個強化交互作用波於非線性光學物質內有效藕合的重要的方向就是在該物質內設計一共振的結構。舉例來說，紀錄上最低的激發拉曼散射雷射閾值就是在一微矽腔內達成的。還有，分布式反饋光柵結構也被寫入週期性晶格反轉鋯酸鋰晶體上[43]。這些共振結構用於非線性頻率轉換上會大大地降低雷射產生閾值並降低轉換效率。

多重功能非線性光學元件也是目前十分重要的研究課題。於單一晶片上製作一光學系統的概念已被認定是未來光電應用的發展趨勢。非線性光學元件必然在波長轉換、光學放大、信號再生、及光開關等光通訊網絡上扮演重要角色。

簡言之，當前及近期之非線性光學研究方向將包含合成高非線性數光學物質、解決准相位匹配雷射中光折變及紅外吸收之問題、發展新型准相位匹配光電應用元件、研發共振態非線性增益雷射元件、及高階非線性電漿 x-光源等。

值得一提的是，近五年來我國已逐步發展固態雷射及非線性光學元件相關產業，並獲致成果。由於非線性雷射具波長可調性，與物質之光學能量吸收關係密切，相關之應用產業正積極醞釀；未來十年，將非線性雷射應用於全彩顯示、環境監測、生醫科技、光通訊網路、軍事遙測等之產業，將是榮景可期。

(四) 量子光學

量子光學研究的發展重點目前主要是在以下幾個領域：1. 共振腔量子光學現象之研究；2. 新量子態光的產生及應用；3. 半導體內之量子光學現象之研究；4. 量子資訊技術之發展。以下我們就來針對這幾個最重要的研究領域，來說明其研究重點及現況。

1. 共振腔量子光學(Cavity Quantum Optics)

當具有足夠長 De-phasing Time 的原子或離子等處在一個高 Q 值的共振腔中時，原子或離子等透過與共振腔中光子的同調交互作用 (Coherent Interaction) 可以產生很多有趣的 Cavity QED 現象，此即共振腔量子光學的研究主題 [44]。近幾年來在這方面的研究方向主要是在結合原子及離子捕捉技術來進行實驗，可以將單個或數個原子或離子捕捉在共振腔中進行較長時間的同調交互作用。主要的成果則包括實際製作出單原子雷射等之前所無法實際達到的共振腔量子光學系統並開始研究其特殊性質。

2. 新量子態光(New Quantum States of Lights)

藉著光與物質間之非線性交互作用可以產生一些新的量子態光，其特性與古典態光有很大的不同，這些新量子態光的產生、量測及應用即是在新量子態光這一研究領域中研究主題。近幾年來在這方面的研究方向主要是針對量子壓縮態光(Squeezed State)及量子糾纏態光(Entangled State)的各種產生、量測及應用來進行研究。主要的成果則包括利用各種非線性光學(Optical Parametric Process, Kerr Nonlinearity, ...)的方法成功地產生出各種量子壓縮態光及量子糾纏態光，實際進行量測來證明其新的量子特性，並將這些新的量子態光實際應用於量子資訊(Quantum Information)上的研究 [45]。

3. 半導體量子光學(Semiconductor Quantum Optics) [46-47]

利用半導體技術可以在半導體中進行量子光學的實驗，也可以製作出很多量子光學上所需要的關鍵元件，這些新型實驗系統及新型元件的研究及發展即是在半導體量子光學這一研究領域中研究主題。近幾年來在這方面的研究方向主要是在半導體中利用 DBR Cavity 及量子井或量子點中的 Exciton 來進行共振腔量子光學的實驗，以及利用半導體技術來製作單光子光源及單光子偵測器等新型量子光學元件。主要的成果則包括實際在半導體上展示了許多 Cavity QED 效應，以及初步研製出可控式的單光子光源(Single Photon Source on Demand)等。

4. 量子資訊(Quantum Information) [48]

利用新型的量子態光及新型的光與物質之交互作用可以發展出一些新型的量子保密通訊技術、量子態傳輸技術、及量子計算技術，些新型量子光學應用技術的研究及發展即是在量子資訊這一研究領域中研究主題。近幾年來在這方面的研究方向主要是在上述三方面進行新型方法或架構的提出以及各種實際建構技術的發展。主要的成果則包括實際架設了利用光纖或自由空間光傳播的方式來進行密碼匙的傳送(Quantum Key Distribution)，以及各種量子保密通訊、量子態傳輸、及

量子計算的可能架構之提出。

三、前瞻研究方向:

以下分別討論本領域四個主題的前瞻性研究方向，我們儘可能考慮我國的研究現況與資源，選定一些有可能產生在國際上具衝擊性結果的研究方向與課題。

(一) 先進固態雷射:

在先進固態雷射領域，我們建議以下優先發展課題:

1. 降低高功率、高光束品質固態雷射之體積及成本。

固態雷射長久以來，以其優異之光學模態及光儲能能力而著稱，但大體積及高單價卻限制了其廣泛應用的空間，近年來以半導體雷射激發之固態雷射已改善了此現象，而結合半導體製程技術於固態雷射，將有機會大幅降低固態雷射的體積及製作成本，從而擴展其應用領域。尤其半導體技術是台灣目前極具國際競爭力的領域，大量引進此類台灣優勢技術，將可快速提升先進固態雷射的發展。具體而言，半導體技術中之晶片切割、鍍膜及高溫製程等可充分利用至微型晶片雷射(micro-chip laser) 及擴散結合增益介質/非線性晶體等複合式固態雷射，用以開發可見光至 UV 雷射，因此我們優先推薦此類結合固態雷射及半導體技術之新型態雷射以期推展大型雷射顯示器用之光源、次世代半導體光刻(photo-lithography)製程設備及微機械加工雷射等應用。

2. 發展光通訊用寬頻 ASE 光源、可調波長雷射及光纖放大器。

光纖通訊至今已歷經二十餘年的發展，近年來由於全球資訊基礎建設(global information infrastructure; GII)與國家資訊基礎建設(national information infrastructure; NII)的大力推展，加上網際網路及 WWW 的風行，使得國際及國內對寬頻通訊的需求快速增加。傳統上摻雜稀土元素的光纖 ASE 光源、可調波長雷射及光纖放大器，已不足以應付未來 10 到 100 Tb/s 之光通訊頻寬需求，必須充分應用新一代無水光纖(water-free fiber) 為平台，開發各式主動元件方可盡其功，目前以摻四價鉻之鈮石榴石包含 1200 nm 至 1600 nm 之增益頻寬，最具發展各式超頻寬元件之潛力，此外，晶體光纖(crystal fiber)之幾何結

構與玻璃光纖 (silica fiber) 類似，相互間的模態匹配容易，未來有極大之潛力可用以開發各式光纖通訊用之主/被動元件，因此，我們亦優先推薦摻四價鉻之鈮石榴石雷射及元件，以發展前瞻之超寬頻光纖通信技術。

(二) 超快光學與超快光電子學：

由於技術飛快的發展，現在超快光學與光電子學已不再只是光學與光電子研究了，更廣泛應用在各種與尖端技術的發展，由於領域廣泛，更無像日本國家型計畫的贊助，因此台灣不可能在廣泛的超快光學與光電子學的發展全面取得世界性的技術領先，但是以目前有限經費資助下，我國在許多重要的超快光學與光電子學的發展與技術方面，已擁有不錯的技術優勢。未來領域發展應結合目前已具優勢之項目，鼓勵具有實質成果之研究室，持續鼓勵其重點發展，並給予較充分之經費資源，以提升其研究層次，才有可能以有限之人力與經費下，在世界的快速潮流中發揮目前已有的成果。同時由於應用廣泛，國科會應嘗試從事跨處(工程、自然、生物)合作甚至與其他單位合作(如工研院、中科院、中研院、國家衛生院)，以期將研究成果轉移為國家利益。

建議之研究方向如下：

1. 基礎飛秒雷射光源技術：目前國內主要超快研究均集中於應用研究，反而疏忽了基礎飛秒雷射光源技術之持續開發。由於飛秒雷射光源技術是整個超快光學與光電子學研究之母，應鼓勵國內學者從事基礎技術之建立，而非一味的自國外採購光源。重點研究方向包含小體積(可攜式)、高脈衝能量(1焦耳以上)、短脈衝(10飛秒以內)、高重複率(10億/秒以上)、多波長輸出、及新波長(可見光、紫外光、中遠紅外光)之開發。飛秒量測技術上，則應試圖將概念性技術轉化為實際系統，以求商品化。
2. 高速光通信技術：目前國內雖然高額投資於通信產業與技術，然而目前研究經費均投資於每秒100億位元以下之系統與元件，在高速光通信系統技術方面(每秒1000億位元以上)完全沒有任何投資，甚至包含學術界在內。此方面之超快光電元件與系統技術，是未來本學門最應積極發展之方向。建議光電學門應盡速結合通信學門，共同建構每秒1兆位元之高速光通信系統技術(目前美日已可做到每秒4兆位元以上之高速光通信系統)，並同步開發所需之系統超快元件關鍵技術，包含高速光開關、全光學時域多工技術、光偵測器等。
3. 醫療與生命科學技術：目前國內發展情況是，由本學門贊助的基礎技術同仁發展之先進系統，由於受限於經費，往往難以直接應用於生醫研

究，而生物醫學研究單位則自國外大量直接購買昂貴系統(動輒上千萬)，因此本學門之發展技術較難與生物醫學研究單位直接合作，且本學門同仁之士氣極其容易受到打擊。本學門應持續鼓勵贊助光學技術開發計畫，而非只是補助買進成熟之昂貴系統。未來技術應著重突破解析度繞射限制、開發高速影像能力、單分子偵測能力、時域解晰能力、與高精準度生物光剪技術。另外亦應將將強跨學門合作，鼓勵其他學門或單位欲自國外直接採購昂貴系統者，應優先考慮與國內開發技術者合作，不但可使技術生根，更可將經費做有效之應用，並將發展技術轉移至實際生物醫學研究。

4. 兆赫波科學與技術：目前國內正在起步階段。由於分子影像技術攸關國防及生物醫學研究，因此應積極發展此方向之研究。未來除應繼續朝光源發展外，更應積極發展兆赫波接收器與影像及光譜應用。
5. 強場科技：目前高能物理所用的加速器尺寸已經到達幾十公里周長，接近人類經濟能力的極限。因此未來的實驗發展，勢必要依靠加速器技術的革新。以超快雷射為基礎之雷射驅動電子加速器，除造價相對極為低廉外、已證實其加速電場能夠高達 1 GV/cm，可大幅縮小加速器所需的設備、體積與運轉經費，應成為台灣下一代的加速器技術。另應發展短脈衝高亮度X光源的需求也日益殷切，以解決下一代奈米科技所需之關鍵細胞結構攝影技術、X光蝕刻術、微機電結構製作、埃秒(10^{-18} 秒)尺度分子內電子動力學等研究工具。另外應積極與中科院極發展高能光學子彈基礎研究技術，除可用於遙測與空氣污染防治，更可成為雷射與電磁波武器之研究基礎。
6. 微結構製造技術：國內應積極發展光學三度空間微結構製造技術，以因應奈米時代高精密度製造之需求。同樣技術亦可解學高密度三度空間光學儲存之需求。
7. 基礎科學研究：國內應積極發展光學同調量子控制技術，並應用於半導體中之超快光子傳輸控制與奈米聲波合成與奈米超音波影像。

(三) 非線性光學材料與元件：

謹就非線性光學材料與元件分別討論如下：

1. 非線性光學材料

(1) 有機非線性光學材料

有機非線性光學材料的吸引人在於其非線性及吸收頻帶能利用在有機分子團上進行分子的附加或移除加以量身訂作。雖然有如此多的彈性來合成製造一高非線性有機材料，但大多數的有機晶體

卻因為太軟以致無法切割及拋光。而生長一高非線性及高光學品質的大尺寸有機非線性晶體仍是一個挑戰。

(2) 應用於准相位匹配技術的先進非線性材料

一般應用於製作准相位匹配元件的共熔組成鈮酸鋰及鉍酸鋰晶體有光折變損害及綠光引發紅外吸收的缺點。對以下材料進一步的研究將可消除或減輕這些缺點：

a. 氧化鎂/氧化鋅摻雜之共熔組成鈮酸鋰及鉍酸鋰晶體

在此些摻雜的鐵電性晶體上製作准相位匹配結構並不容易，相關的電場極化反轉技術應該同時進行開發。

以准相位匹配雷射元件之高效率及彈性的特性來看，任何具有潛力產生高效率雷射的准相位匹配技術及材料開發都應當考慮予以支持。

(3) 開發產生遠紅外及深紫外光之非線性材料

遠紅外光在環境監測、醫學造影、及材料探索上為重要的光源。深紫外光能與物質強烈作用，且可立即應用到微影術上。發明或發現能產生遠紅外及深紫外光之非線性材料將十分有價值。

(4) 特殊的非線性光學材料

跨領域的研究模式已益形重要。非線性光學可以是產生雷射的工具也可以是解析科學的方法。例如，電漿非線性光學將有潛力用來產生真空紫外及 x-光源。而生物組織的非線性光學效應的探討可能開創出一新的醫學診斷及治療方式，進而得以深窺生命科學奧秘。

2. 非線性光學元件

(1) 准相位匹配雷射元件

准相位匹配技術的彈性設計特點不但使人們得以利用一非線性晶體的最大非線性係數來達成高效率的雷射產生外，也可以對雷射產生於頻率及時間上依特定設計輸出。重要的研究方向至少包括：准相位匹配雷射源、准相位匹配波長轉換器、高效率准相位匹配波導、一維及多維結構之准相位匹配晶體或波導、及准相位匹配極化開關。

(2) 非線性光學介質中之光子晶體

一個光學共振結構將會增強特定的波成素，稱為模。但它也同時會抑制在由共振結構所形成的禁制帶內特定的波成素。一個仔細設計過的共振結構可以大大地降低於非線性光學介質內進行波長轉換所需的雷射閾值。一個很好的例子是在一微矽腔內作拉曼

共振有著極低的閾值。光子晶體是一種很精細的光學共振結構。於一非線性光學材料內製成一維、二維、及三維之光子晶體將是開創重要光學元件的方式之一。一個簡單的例子便是在一非線性光學材料上建入一維的光子晶體結構而製成的分布式反饋光參量震盪器用來產生單頻的參量震盪。

(3) 非線性積體光學

在光電應用上，單一晶片上之光學系統同時包含有線性及非線性光學元件是不可避免的趨勢。例如，以鈦酸鋰晶體為基材的積體元件將可提供利用光電效應產生的調變及開關機制、利用摻雜不純物(如鉕)或參量增益(如週期性晶格反轉鈦酸鋰)方式的放大效應、及利用一准相位匹配結構達成的波長轉換等。若能結合以矽晶為基材的微光機電系統技術，非線性積體光學將開啟全光、多重功能光晶片的應用時代。

(4) 非線性兆赫頻譜之雷射產生

非線性頻率轉換是一個同調的過程，用以產生同調的雷射射源。以目前技術而言，缺乏一個有效率及經濟的方式來產生太赫芝頻譜範圍之雷射光。我們應當持續地開發在固態或新的材料上的非線性混頻方法來產生此波段的雷射光。

(5) 高能場非線性光學

高能場非線性光學具有相當的潛力在產生真空紫外及 x-光頻段的雷射。產生機制包括傳統的電漿非線性偶極子激發以及像從相對論電子的康卜頓散射產生的自由電子雷射。這些想法皆牽涉到相對論非線性光子-電子動力的廣奧物理，因此可考慮成為長期投入的先進研究課題。

(四) 量子光學

以下謹就量子光學的四大研究領域來分別論述可能的前瞻研究方向。

1. 共振腔量子光學

目前此領域最先進的實驗技術已進展到使用非常複雜的原子式離子捕捉設備在超真空及超低溫的環境下來進行實驗，而且也與「原子光學」(Atom Optics) 及「玻色-愛因斯坦凝聚」(BEC)等物理上重要的研究領域有密切的關聯。我們認為此類的研究較適宜在物理學門中來規劃及進行。

2. 新量子態光

目前在新量子態光的研究上是以產生可應用於量子資訊技術的量

子糾纏態光為主要的研究重點，包括利用新型的非線性材料及光學架構來產生新的量子糾纏態光，以及發展新的方法來偵測及控制這些新的量子態光。這些研究方向應該都很適合國內研究人員來投入發展。

3. 半導體量子光學

目前在半導體量子光學的研究上是以單光子光源及單光子光偵測器之研究最受重視，另外利用半導體材料及元件來發展量子計算技術也是仍在進行中的長期發展題目。這些研究題目應該都很適合在光電學門中來發展。

4. 量子資訊

目前很多量子光學研究的主要目標都是要來發展量子資訊上的應用，包括量子保密通訊技術及量子計算技術等。以目前的狀況而言，量子保密通訊技術已經很接近實用階段，值得作為投入發展的方向。至於量子計算方面則還有很多問題需解決，較適合作為長期發展的方向。

總結來說，在量子光學四大研究領域之中，第一領域的共振腔量子光學如果是使用原子或離子來作研究，則因為其需要使用原子束及原子捕捉等技術與設備，應該比較適合在物理學門中來規劃及執行，在光電學門中則不妨以使用固態材料或半導體材料來進行共振腔量子光學之研究來作為規劃的重點。後三個領域則非常適合作為光電學門的規劃重點，可以鼓勵光電學門中的研究人員利用本身在雷射技術、非線性光學技術、及半導體技術等上的專長來針對新型量子態光的各種技術進行研究，以及利用半導體等技術來進行新型量子態光源及光偵測元件的開發，並可進一步發展量子光學在量子保密通訊等之有潛力的量子資訊技術上之應用，使我國在量子光學上的研究也能在國際上佔有一席之地。

四、產業技術研究概況

我國的雷射產業尚在起步階段，但在雷射加工、醫療等方面，也有少數廠商投入。以雷射加工機為例，國內產品多半在組裝層次，從國外進口雷射主體，配合國內製造的車床、CNC 控制器等，組成系統。一般而言，技術的層次較低，但近年來，在產學界較緊密的互動下，也開始有所突破。舉例而言，中山大學在國科會產學計畫的支持下，已成功技術轉移小型綠光固態雷射至漢光科技、卓智電子、方礎公司、元利儀器及宏惠光電等公司。在非線性光學材料與元件方面，由清華大學技轉的龍采公司已開始量產 PPLN 元件。有關我國雷射產業的技術動態，光電工業協進會每年均會出版更新的調查報告，在此不另贅述。

五、結論

量子電子學與雷射科技領域在光電科技中一向是屬於前瞻研究的領域，展望未來的十年，這個趨勢應不會改變。我國在許多重要的量子電子學與雷射科技的發展與技術方面，擁有不錯的學術與技術優勢。未來應結合目前已具優勢之項目，重點發展，才有可能以有限之人力與經費，在世界的快速潮流下，保持目前已有的成果，並將研究成果轉移為國家利益。未來在國家財政改善前，可政策性鼓勵本學門相關研究表現極其卓越之同仁，以主持兩個以上計畫之方式(一個為本學門贊助之前瞻性研究計畫，另一個以上為應用計畫)，並積極與其他單位合作，以持續發展此在國內人口較少但表現突出之次領域。舉例而言，在高速光通信技術方面，可由國家電信計畫提供系統發展所需經費，而本學門則鼓勵同仁發展超快光電元件配合。在醫療與生命科學技術方面，則可鼓勵同仁爭取生物處、國家基因體計畫、與國家衛生院之應用研究計畫，而本學門則鼓勵同仁發展雷射及先進影像與顯微術與之配合。在強場科技、量子光學、兆赫波科學與技術上，則可由本學門與自然處物理共同贊助。

六、參考文獻

- [1] D. Hargis and A. Earman, "Lasers replace conventional technology in display designs," *Laser Focus World*, 7, pp. 145-149, 1998.
- [2] H. Jones-Bey, "Expiring license opens field for solid-state blue lasers," *Laser Focus World*, 36(1), pp. 133-138, 2000.
- [3] K. L. Schepler, "Trends in Solid-State Laser," *Optical & Photonics News*, pp. 39-41, 1997.
- [4] S. Tsuji, "Revised optical communication technology roadmap and present opto-devices status," Central Research Lab., Hitachi, Ltd., 2001.
- [5] A. Sennaroglu and A. Ozgun Konca, "Optimization of room-temperature continuous-wave Cr^{4+} :YAG lasers: experiment and modeling," *OSA Trends in Optics and Photonics*, 34, *Advanced Solid-State Lasers*, H. Injeyan, U. Keller, and C. Marshall, eds., pp. 373-378, 2000.
- [6] D. J. Ripin, C. Chudoba, J. T. Gopinath, J. G. Fujimoto, E. P. Ippen, U. Morgner, F. X. Kartner, V. Scheuer, G. Angelow, and T. Tschudi, "Generation of 20-fs pulses by a prismless Cr^{4+} :YAG laser," *Optics Letters*, 27, pp. 61-63, 2002.
- [7] J. D. Minelly, L. A. Zenteno, A. J. E. Ellison, and M. J. Dejneka, "Novel fiber lasers for telecommunications," *OSA Trends in Optics and Photonics*, 68, *Advanced*

- Solid-State Laser, M. E. Fermann and L. R. Marshall, eds., pp. 3-5, 2002.
- [8] E. Heumann, S. Bar, H. Scheife, and G. Huber, "Green upconversion lasing of $\text{Er}^{3+}:\text{LiLuF}_4$ using cavity external pump feedback," OSA Trends in Optics and Photonics, **68**, Advanced Solid-State Laser, M. E. Fermann and L. R. Marshall, eds., pp. 486-488, 2002.
- [9] C. Chen, "Recent development of NLO crystals in the visible and ultraviolet regions," Solid State Lasers: Materials and Applications, pp. 73-76, 1997.
- [10] J. Gao, M. Larionov, J. Speiser, A. Giesen, A. Douillet, J. Keupp, E. M. Rasel, and W. Ertmer, "Nd:YVO₄ thin disk laser with 5.8 watts output power at 914 nm," Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), paper CTu11, 2002.
- [11] R. Ell, U. Morgner, F. X. Kartner, J. G. Fujimoto, E. P. Ippen, V. Scheuer, G. Angelow, T. Tschudi, M. J. Lederer, A. Boiko, and B. Luther-Davis, "Generation of 5 fs pulses and octave-spanning spectra directly from a Ti:sapphire laser," Optics Letters **26**, pp. 373-375, 2001.
- [12] A. Bartels and H. Kurz, "Generation of a broadband continuum by a Ti:sapphire femtosecond oscillator with a 1 GHz repetition rate," Optics Letters **27**, pp. 1839-1841, 2002.
- [13] D. J. Derickson, R. J. Helkey, A. Mar, J. G. Wasserbauer, W. B. Jiang, and J. E. Bower, "Modelocked semiconductor lasers: short pulse, small package," Optics and Photonics News **3**, pp. 14-20 (1992).
- [14] K. Tamyra, L. E. Nelson, H. A. Haus, and E. P. Ippen, "Soliton versus nonsoliton operation of fiber ring laser," Applied Physics Letters **64**, pp. 149-151, 1994.
- [15] D. Umstadter, S.-Y. Chen, A. Maksimchuk, G. Mourou, and R. Wagner, "Nonlinear Optics in Relativistic Plasmas and Laser Wake Field Acceleration of Electrons," Science **273**, pp. 472-475, 1996.
- [16] B. A. Remington, D. Arnett, R. P. Drake, and H. Takabe, "Modeling astrophysical phenomena in the laboratory with intense lasers," Science **284**, 1488, 1999.
- [17] M. Drescher, M. Hentschel, R. Kienberger, G. Tempea, C. Spielmann, G. A. Reider, P. B. Corkum, and F. Krausz, "X-ray Pulses Approaching the Attosecond Frontier," Science **291**, pp. 1923-1927, 2001.
- [18] K. R. Tamura and K. Sato, "50-GHz repetition rate, 280-fs pulse generation at 100 mW average power from a modelocked laser diode externally compressed in a pedestal-free pulse compressor," Optics Letters **27**, pp. 1268-1270, 2002.
- [19] T.-M. Liu, H.-H. Chang, S.-W. Chu, and C.-K. Sun, "Locked multi-channel

- generation and management by use of a Fabry-Perot etalon in a mode-locked Cr:forsterite laser cavity," *IEEE Journal of Quantum Electronics* **38**, pp. 458-463 2002.
- [20] W. S. Warren, H. Rabitz, and M. Dahleh, "Coherent control of quantum dynamics: The dream is alive," *Science* **259**, pp. 1581-1589, 1993.
- [21] X. Gu, L. Xu, M. Kimmel, E. Zeek, P. O'shea, A. P. Shreenathm R. Trebino, and R. S. Windeler, "Frequency-resolved optical gating and single-shot spectral measurements reveal fine structure in microstructure-fiber continuum," *Optics Letters* **27**, pp. 1174-1176, 2002.
- [22] J.-W. Shi, K.-G. Gan, Y.-H. Chen, C.-K. Sun, Y.-J. Chiu, and J. E. Bowers, "Ultra-high power-bandwidth product and nonlinear photo-conductance performances of low-temperature-grown GaAs based metal-semiconductor-metal traveling-wave photodetectors," *IEEE Photonic Technology Letters* **14**, pp. 1587-1589, 2002.
- [23] M. Nakazawa, T. Yamamoto, and K. R. Tamura, "1.28 Tbit/s-70km OTDM transmission using third-and-forth order simultaneous dispersion compensation with a phase modulator," *Electronic Letters* **36**, pp. 2027-2029, 2000.
- [24] E. Denk, J. H. Strickler, and W. W. Webb, "Two-photon laser scanning fluorescence microscopy," *Science* **248**, pp. 73-76, 1990.
- [25] S.-W. Chu, I.-H. Chen, T.-M. Liu, P. C. Cheng, C.-K. Sun, and B.-L. Lin, "Multimodal nonlinear spectral microscopy based on a femtosecond Cr:forsterite laser," *Optics Letters* **26**, pp. 1909-1911, 2001.
- [26] U. K. Tirlapur and K. König, "Targeted transfection by femtosecond laser," *Nature* **418**, pp. 290, 2002.
- [27] D. Huang, E. A. Swanson, C. P. Lin, J. S. Schuman, W. G. Stinson, W. Chang, M. R. Hee, T. Flotte, K. Gregory, C. A. Puliafito, and J. G. Fujimoto, "Optical Coherence Tomography," *Science* **254**, pp. 1178-1181, 1991.
- [28] S. Kawata, H. B. Sun, T. Tanaka, and K. Takada, "Finer features for functional microdevices," *Nature* **412**, pp. 697-698, 2001.
- [29] K. Minoshima, A. M. Kowalevich, I. Hartl, E. P. Ippen, and J. G. Fujimoto, "Photonic device fabrication in glass by use of nonlinear materials processing with a femtosecond laser oscillator," *Optics Letters* **26**, pp. 1516-1518, 2001.
- [30] A. S. Weiling, B. B. Hu, N. M. Froberg, and D. A. Auston, "Generation of tunable narrow-band THz radiation from large aperture photoconducting antennas," *Applied Physics Letters* **64**, pp. 137-139, 1994.

- [31] D. M. Mittleman, R. J. Jacobsen, and M. C. Nuss, "T-Ray Imaging," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 2, pp. 679-692, 1996.
- [32] J. Herbst, K. Heyne, R. Diller, "Femtosecond Infrared Spectroscopy of Bacteriorhodopsin Chromophore Isomerization," *Science* 297, pp. 822-825, 2002.
- [33] C.-K. Sun, F. Vallée, L. H. Acioli, E. P. Ippen, J. G. Fujimoto, "Femtosecond-Tunable Measurement of Electron Thermalization in Gold," *Physical Review B* 50, pp. 15337-15348, 1994.
- [34] C.-K. Sun, J.-C. Liang, and X.-Y. Yu, "Coherent acoustic phonon oscillations in semiconductor multiple-quantum-wells with piezoelectric fields," *Physical Review Letters* 84, pp. 179-182, 2000.
- [35] S. sohma, H. Takahashi, T. Taniuchi, H. Ito, "Organic nonlinear optical crystal DAST growth and its device applications," *Chemical Physics* 245 (1999) 359-364.
- [36] K. Kawase, M. Mizuno, S. Sohma, H. Takahashi, T. Taniuchi, H. Ito, "Difference-frequency terahertz generation from 4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium-tosolate by use of an electrically tuned Ti:Sapphire Laser," *Opt. Lett.* 24 15 (1999) pp. 1065-67.
- [37] Y. Furukawa, K. Kitamura, A. Alexandrovski, R.K. Route, M.M. Fejer, G. Foulon, "Green induced infrared absorption in MgO doped LiNbO₃," *App. Phy. Lett.* 78 14 (2001) pp. 1970-1972.
- [38] Y. Furukawa, K. Kitamura, S. Takawa, K. Niwa, H. Hatano, "Stoichiometric Mg:LiNbO₃ as an effective material for nonlinear optics," *Opt. Lett.* 23 24 (1998) pp. 1892-1894.
- [39] Wei Shi and Yujie J. Ding, "Coherent and widely-tunable THz and millimeter source: new application for GeSe," *CLEO 2002 Technical Digest*, CTuC1, p. 145, Long Beach, California, May 21-23, 2002.
- [40] <http://www.inrad.com/>
- [41] L.A. Eyres, T.J. Turreau, T.J. Pinguet, C.B. Ebert, J.S. Harris, and M.M. Fejer, "All-epitaxial fabrication of thick, orientation-patterned GaAs films for nonlinear optical frequency conversion," *App. Phy. Lett.* 79, (2001) 904-906.
- [42] See, for example, A. Rousse, S. Fourmaux, S. Seban, G. Grillon, Ph. Balcou, "Is there a future for femtosecond x-ray diffraction using plasma x-ray sources," *CLEO 2002 Technical Digest*, JTUF1, p. 304, Long Beach, California, May 21-23, 2002.
- [43] A.C. Chiang, Y.Y. Lin, T.D. Wang, Y.C. Huang, J.T. Shy, "Distributed feedback optical parametric oscillation by using a photorefractive grating in PPLN,"