

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

具網路結合功能之半導體製造集結式機台-子計畫二：

用於 12 吋晶圓製造之前段製程技術 (3/3)

計畫編號：NSC 89-2218-E-002-054

執行期限：89/08/01~90/07/31

主持人：劉致為 chee@cc.ee.ntu.edu.tw 台灣大學電機系

共同主持人：呂學士 台灣大學電機系，翁宗賢 台灣大學應力所

一. 中文摘要：

利用原有的 RTCVD 機台，將真空元件更換並加裝 Turbo pump 將可使反應腔能夠抽到 10^{-3} torr。加上流量控制、溫度控制、及未來之壓力控制，將可完成 UHV 成長之基本條件，因此機台同時具有快熱與超高真空的特性。成長之超薄氧化層製成 MOS，可當 LED 和 detector。此外，利用超高真空製程，可以使 SiO_2/Si 介面更加粗糙，對於金氧半發光二極體的發光效率有明顯的提升。對於淺接面，勢必要用到 RTA，而縮短退火時間正是研究課題，因此我們模擬晶圓降溫的曲線在有無反射體的情況下，當溫度從 900 至 1000°C 降到 600°C，時間上提早了 1.8~2.8 秒，這對於只有數秒鐘的退火大有幫助。

關鍵詞：超薄氧化層、RTCVD 機台、Turbo 幫浦

Abstract

Base on the original RTCVD chamber, we changed the vacuum units and add turbo pump on. We can make the chamber pressure level down to 10^{-3} torr. Together with flow control, temperature control, and pressure control, the basic requirements of UHV growth can be reached. It has been found that the higher the temperature and the longer the time, the better the uniformity. Beside, we had grown poly-Si and measure it. Hence our chamber have properties of rapid thermal and ultra high vacuum at the same time. The ultrathin oxide by the RTCVD can be fabricated MOS structure as light LED and detector. Besides, to prebake silicon with

ultrahigh vacuum (UHV) environment at high temperature before growing oxide layer which make the rougher surface of silicon wafer. As to the shallow junction, RTA is inevitable and the reduced annealing time is a major course. Therefore, we simulated the curves of wafers without reflector during cooling process. The reduced time is about 1.8~2.8 sec as temperature from 900~1000°C down to 600°C. This is available for anneal of several seconds like RTA.

Keywords: ultra-thin oxide, RTCVD, Turbo pump

二. 計畫緣由與目的

由於元件尺寸必須越來越小，由 1999 年的 $0.18\mu\text{m}$ ，到 2012 年的 $0.05\mu\text{m}$ ，使得閘極氧化層厚度必需在 2nm~5nm 之間，因此成為重要的課題。

三. 研究方法與成果

在計劃支持下，利用半組裝的方式建立一個 8 吋的 UHV/RTCVD 系統，見圖一與二

A. UHV/RTCVD 的特性

由於低溫成長可減少參雜的擴散，及表面原子遷移；為了保持在低溫成長時的潔淨度，我們必須將原來 RTCVD 改進為 UHV/RTCVD 系統。在 UHV/RTCVD 系統中成長的機制主要是由反應物分子在矽晶圓表面的分解反應決定。與一般 CVD 系統最大的差異在於缺少流體力學的邊界效應與分子氣相反應。這是由於在反應時的超低壓 (約 10^{-3} torr)，在這樣的低壓下分子的

平均自由徑約與反應器大小相當,因此分子間的碰撞將減到最低,分子間氣相反應也極不易發生;同理,由於反應物以分子流的狀態到達晶圓表面,具流體力學性質的邊界層也將無法形成。

B. 機台加裝 Turbo pump

根據設計的理念,利用原有的 RTCVD 機台,並將溫度測量(熱耦器及 pyrometer)及控制自動化,流量利用 mass flow controller 已可穩定控制,壓力自動控制已完成。已 install turbo pump,與超高真空元件,完成 UHV 之真空環境,如圖三。

C. 電性量測

圖四、圖五與圖六分別是我們以 RTO 在溫度 900°C 減壓下所成長出氧化層厚度 2.3nm 的 MOS 元件之高頻電容-電壓、電致發光光譜及電流-電壓特性曲線圖。其中電容-電壓特性是由 HP4284A LCR metern 所量測得到,再經由等效電路校正,由測量結果可推得其等效氧化層厚度約為 2.6nm。在圖六中,我們可以清楚看出元件的光電流隨光照強度變化的狀況。快熱氧化層的成長溫度從 900°C 到 1000°C,無光電流減少了 100 倍,而 PMOS 偵測器也有類似大小的無光電流。

D. 超高真空製程與粗糙率

成長氧化層之前,分別於高溫(1000°C)、超高真空環境中預烤(pre-bake)矽晶圓,再利用快熱氧化技術(rapid thermal oxide)成長 2~3 奈米的氧化層。圖七為 x-ray 反射率,由於 x-ray 波長($\lambda=0.1543\text{nm}$)與氧化層的粗糙度相近,故極適合用來量測 Si/SiO₂ 介面/表面粗糙率,圖七中反射率掉的越快的代表有越粗糙的介面跟表面,介面粗糙率、表面粗糙率和氧化層厚度都是利用商用軟體模擬粹取出來,圖七的插圖中,粹取的厚度與橢圓測厚儀得到的厚度相近,因此粹取出來的這組答案相當可信,有超高真空預烤的介面與表面粗糙率都比沒超高真空預烤的大。圖八為通電發光量測結果,其中皆可用 EHP 模型

(electron-hole plasma model)模擬的相當好[3],可以發現在相同的穿透電流下,有超高真空預烤的都比沒有超高真空預烤的光強,而其發光效率則在圖九,電流在 100mA 時,其有無超高真空預烤的發光效率分別為 2.53×10^{-6} 與 1.63×10^{-7} ,在相同的穿透電流下,有超高真空預烤的都比沒有超高真空預烤的效率都大一個數量級。

E. Spike ramp

RTA 的快速升降溫可以在退火時減少離子佈植後的擴散,在升溫方面,升溫速率可以由燈管強度來控制,在降溫方面,晶圓降溫的機制大部份來自於輻射,並不能由燈管強度來控制,圖十為實驗在相同的電壓下,高低壓與氣體流量對溫度升降與最高點的差異,可以發現氣體流量的大小對溫度影響很小,但壓力的影響卻很大,在最高溫時,低壓比高壓高了有 35°C 之多,圖十一為晶圓降溫曲線和我們 fitting 的結果,同時我們也模擬降溫時插入一不透明物在燈管與晶圓之間(method I),或在燈管與反射體之間(method II),當溫度從 900 至 1000°C 降到 600°C,時間上提早了 1.6 和 2.8 秒(method I & II),這對於只有數秒鐘的退火大有幫助,圖十二則是降溫速率與溫度的關係圖,降溫可高達 400 °C/sec 在最高溫時(~1000 °C)(method I)。

四. 結論與討論

利用現有的 RTCVD 機台,換裝超高真空系統,已完成 UHV 之反應室,真空度應可達 10^{-7} torr 配合管路系統,已具有超高真空製程的能力,即可成長低溫矽磊晶。

References

- [1] C. W. Liu et al., Technical Digest, International Electron Device Meeting, Washington D. C., pp749-752, 1999
- [2] C. W. Liu, et al., IEEE Electron Devices Lett., Vol. 21, No. 6, pp. 307-309, June 2000.

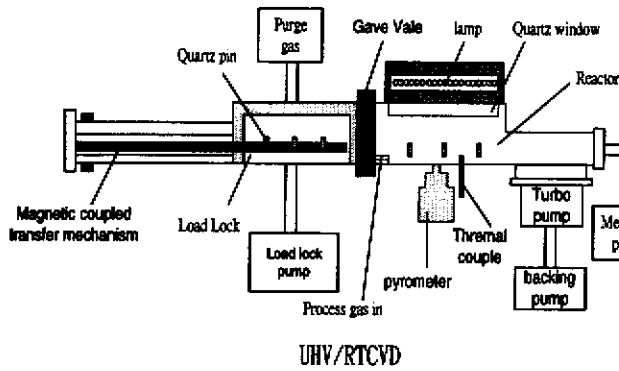


Fig.1 The diagram of the UHV/RTCVD equipment.



Fig.2 The physical layout of the UHV/RTCVD process equipment.

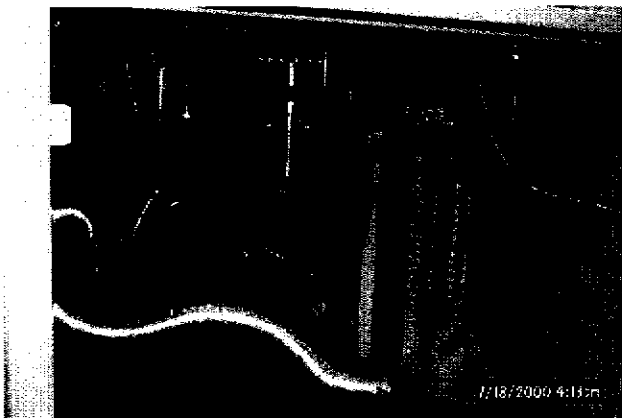


Fig.3 Base on the original RTCVD chamber, we changed the vacuum units and add turbo pump on.

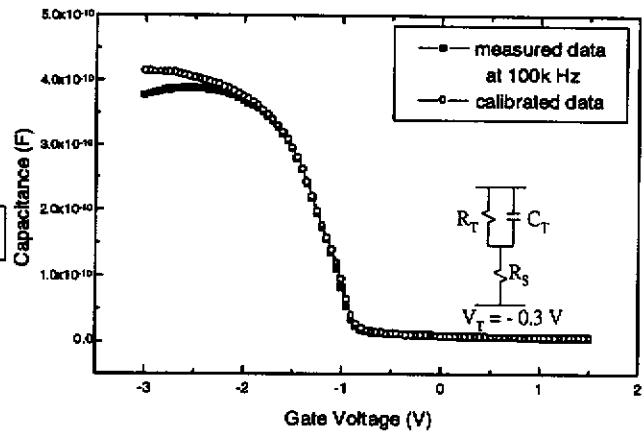


Fig.4 A C-V plot of a NMOS tunneling diode. The thickness measured by ellipsometer is about 2.3nm. The thickness extracted from C-V is 2.6nm.

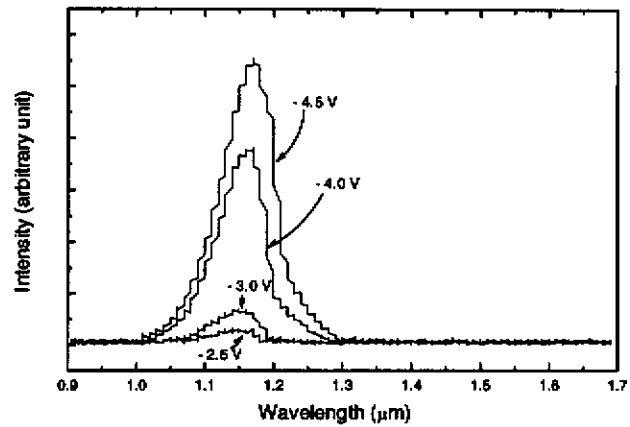


Fig. 5 Emission spectra of NMOS tunneling light emitting diodes.

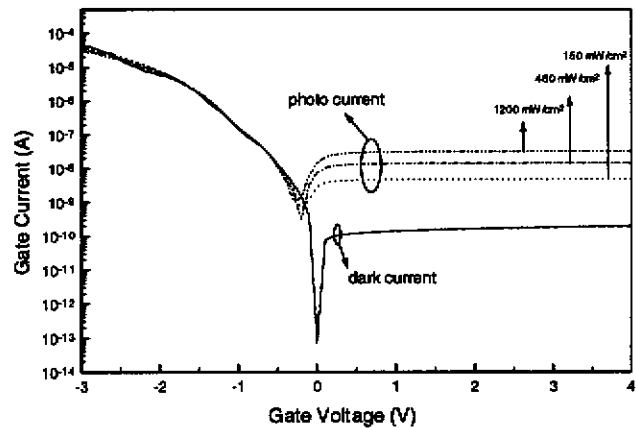


Fig. 6 Photo and dark currents of a NMOS tunneling diode. Dark current does not change after light exposure. Device size is $3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$. The photo current was generated by metal halide lamps with spectra similar the sun.

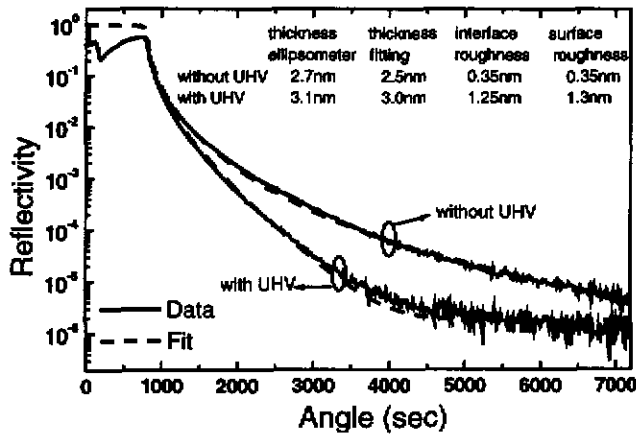


Fig. 7 X-ray reflectivity measurements of rapid thermal oxide with and without UHV prebake process. The rougher interface/surface makes the curve to drop faster. The inset table included interface roughness, surface roughness and oxide thickness was extracted by a commercial fitting program

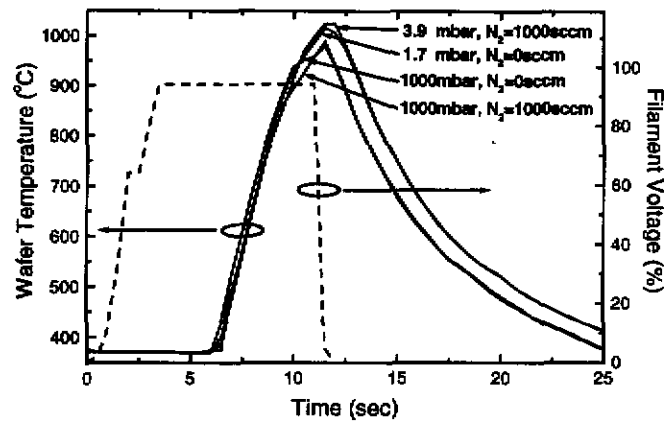


Fig. 10 The wafer temperature profiles measured by pyrometry with different pressure and N₂ flow conditions.

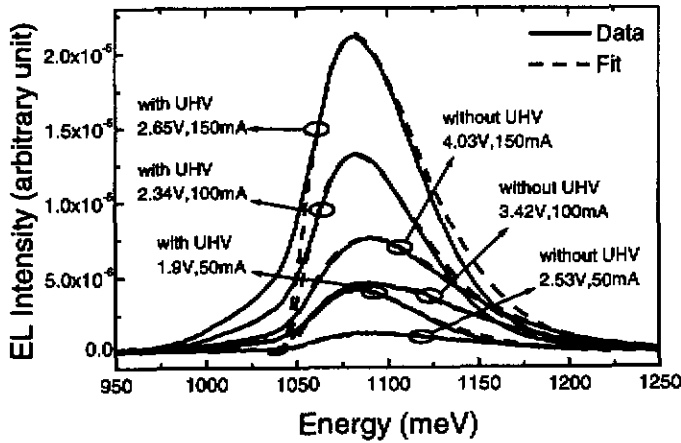


Fig. 8 The EL spectra of MOS diodes with and without UHV prebake process.

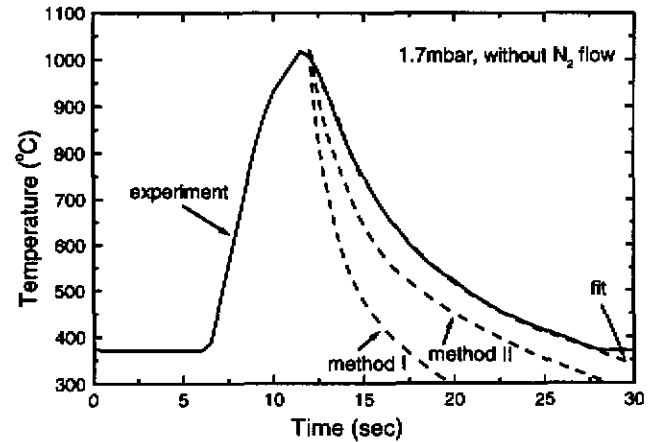


Fig. 11 The solid line and dash lines are experiment data and simulation results, respectively. The simulation parameters are obtained by fitting the experimental data under no shutter insertion, and the fitting reasonable well. The other two dash curve are the simulation for method I and method II.

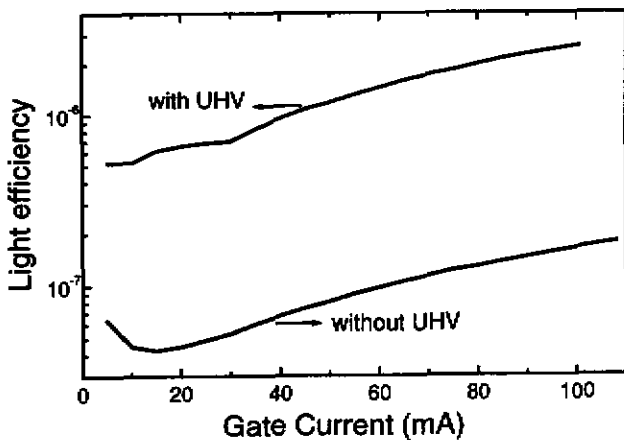


Fig. 9 The light efficiency of MOS diodes with and without UHV prebake process from the light intensity vs. current measurement

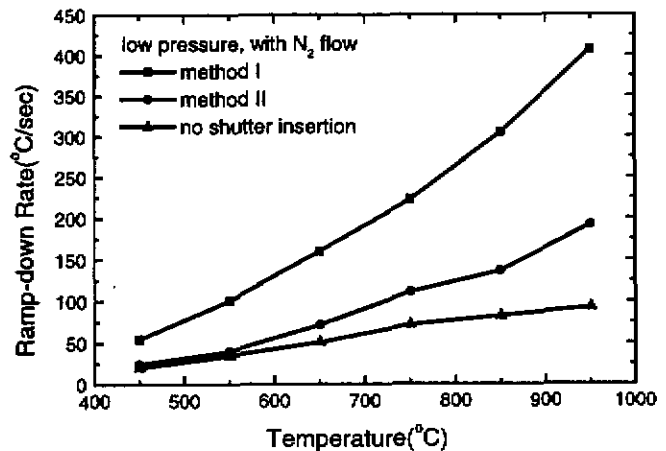


Fig. 12 The instantaneous ramp-down rate of no shutter insertion, method I and method II for low pressure with N₂ flow.

報 到

【鶯聲大樓 中正堂】

開幕式：淡江大學校長

張毓炬 博士 致詞

【鶯聲大樓 中正堂】

國際製造工程學會中華民國分會 孫弘 理事長 致詞

貴賓致詞：國科會副主委

黃文雄 博士 致詞

國科會困力及自動化學門召集人

林榮慶 博士 致詞

(台科大工學院院長)

專 題 演 講 —— 台灣微機電系統技術的發展及應用

【鶯聲大樓 中正堂】

華新麗華股份有限公司 總經理 程一麟 博士

9:50-10:30

議

10:30-10:50

10:50-12:10

12:10-13:10

13:10-14:50

14:50-15:10

15:10-16:50

16:50-17:10

17:10-18:10

18:20

國際製造工程學會

務報告及決議事項

【鶯聲大樓 中正堂】

PMM-A1

【E413】

PMM-B1

【E414】

PMM-C1

【E415】

PMM-D1

【E416】

NSC-A1

【E404】

NSC-B1

【E405】

NSC-C1

【409】

休 息 (茶點)

精密機械製造研討會【新工學大樓】

國科會計劃成果發表會【新工學大樓】

精密機械製造研討會【新工學大樓】

國科會計劃成果發表會【新工學大樓】

午 餐

PMM-A2

【E413】

PMM-B2

【E414】

PMM-C2

【E415】

PMM-D2

【E416】

NSC-A2

【E404】

NSC-B2

【E405】

NSC-C2

【409】

休 息 (茶點)

精密機械製造研討會【新工學大樓】

國科會計劃成果發表會【新工學大樓】

PMM-E1

【E413】

PMM-B3

【E414】

PMM-B4

【E415】

PMM-D3

【E416】

NSC-A3

【E404】

NSC-B3

【E405】

NSC-C3

【409】

休 息

綜合座談

綜合座談

【鶯聲大樓 中正堂】

【鶯聲大樓 國際會議廳】

晚 餐

【鶯聲大樓 觀海堂】

國科會機械工程及自動化整合型成果發表會場次名細

NSC-A1 機械工程整合型：一般 主持人：陳文華教授、林榮慶教授 地點：新工學大樓 E404 時間：10:50-12:10

組別	主持人	學校名稱	計畫編號	計畫名稱
整合一	林強教授	清華大學	89-2212-E-007-067	半導體電漿蝕刻製程中電漿參數即時回授控制與製程診斷系統之整合研製 (1/3) -總計畫
	林強教授	清華大學	89-2212-E-007-068	子計畫一：電漿參數即時回授控制與製程診斷在電漿蝕刻製程之研究
	林滄浪教授	清華大學	89-2212-E-007-069	子計畫二：氬原子濃度即時量測與電漿放射光影像分析之研究
	柳克強副教授	清華大學	89-2212-E-007-070	子計畫三：電漿密度與離子能量量測與分析之研究
	陳文華教授	清華大學	89-2212-E-007-069	三維多晶片模組電子封裝之設計、製造與可靠度研究 (1/3) -總計畫
	陳文華教授	清華大學	89-2212-E-007-080	子計畫一：三維多晶片模組電子封裝之熱效能與可靠度之分析 (數值模擬與實驗)
整合二	江國寧教授	清華大學	89-2212-E-007-081	子計畫二：三維多晶片模組電子封裝之設計、製造與可靠度研究
	葉孟考教授	清華大學	89-2212-E-007-083	子計畫三：三維多晶片模組電子封裝之材料特性研究
	蕭德瑛教授	清華大學	89-2212-E-007-082	子計畫四：三維多晶片模組頂座之設計、製造、分析及可靠度研究
	林榮慶教授	台灣科技大學	89-2212-E-011-056	IC 構裝機之連續沖模設計與製造 (2/3) -總計畫
	羅仕騰助理教授	四海工專	89-2212-E-237-004	子計畫一：IC 構裝機之連續沖模之模具與料片的應力分析
整合三	呂維成副教授	台灣科技大學	89-2212-E-011-055	子計畫二：人工智慧應用於 IC 構裝連續沖模公差設計與磨耗關聯性研究
				子計畫三：IC 構裝機之連續沖模製程之最佳化

NSC-A2 機械工程整合型：一般 主持人：范光照教授、金大仁教授 地點：新工學大樓 E404 時間：13:10-14:50

組別	主持人	學校名稱	計畫編號	計畫名稱
整合四	金大仁教授	交通大學	89-2212-E-009-053	非軸對稱纏繞式複合材料構件的可靠性研究 (111) -總計畫
	林世章副教授	虎尾技術學院	89-2212-E-150-033	子計畫一：非軸對稱纏繞式複合材料構件之結構可靠性分析
	張瑞榮副教授	中華技術學院	89-2212-E-157-002	子計畫二：利用組合式心模製造非軸對稱纏繞式複合材料構件之研究
	金大仁教授	交通大學	89-2212-E-009-054	子計畫三：複合材料構件的纏繞路徑及製程參數
	傅兆章副教授	高雄第一科技大學	89-2212-E-327-004	精密沖壓與沖射複合成形模具技術的研究 (1/3) -總計畫
	傅兆章副教授	高雄第一科技大學	89-2212-E-327-005	子計畫一：精密模具壽命提升技術之研究
整合五	邱能信副教授	高雄第一科技大學	89-2212-E-327-006	子計畫二：模具加工條件與模具表面品質之研究
	黃明賢助理教授	高雄第一科技大學	89-2212-E-327-007	子計畫三：成形參數量測與智慧型監控方法
	范光照教授	台灣大學	89-2212-E-002-133	奈米及三次元量測儀研製 (3/3) -總計畫
整合六	鍾添東副教授	台灣大學	89-2212-E-002-132	子計畫一：奈米及三次元量測儀結構之設計與分析
	范光照教授	台灣大學	89-2212-E-002-130	子計畫二：超精密量測架頭與量測軟體的研製
	張所鈺副教授	台灣大學	89-2212-E-002-130	子計畫三：超精密長距離致動機構研製

NSC-A3 機械工程整合型：一般 主持人：顏鴻森教授、李榮顯教授 地點：新工學大樓 E404 時間：15:10-16:50

組別	主持人	學校名稱	計畫編號	計畫名稱
整合七	顏鴻森教授	成功大學	89-2212-E-006-153	新型電動機車變數器之設計 (2/3) -總計畫
	許坤寶副教授	虎尾技術學院	89-2212-E-150-042	子計畫一：新型電動機車變數器之構想設計與實作
	顏鴻森教授	成功大學	89-2212-E-006-154	子計畫二：新型電動機車變數器之運動設計
	邱顯堂教授	成功大學	89-2212-E-006-150	子計畫三：新型電動機車變數器之動力設計
	李榮顯教授	成功大學	89-2212-E-006-156	線性馬達驅動之高速工具機研究 (2/3) -總計畫
	蔡明棋教授	成功大學	89-2212-E-006-161	子計畫一：高速工具機之線性伺服系統設計之研究
	王俊志副教授	成功大學	89-2212-E-006-162	子計畫二：具機進給機構及銑削製程之系統動態特分析
整合八	李榮顯教授	成功大學	89-2212-E-006-157	子計畫三：高速工具機數值控制即時插補運算器之研究
	徐澤志教授	元智大學	89-2212-E-155-024	「工程表面」理想製程之整合性研究 (3/3) -總計畫
	羅斯維副教授	雲林科技大學	89-2212-E-224-018	子計畫一：前置滾軋製程中「工程表面」形成機制之研究
	林育立副教授	中華大學	89-2212-E-216-026	子計畫二：工程表面塗層的基礎與應用
	楊大中副教授	元智大學	89-2212-E-155-022	子計畫三：捲繞力學之離心力與重力效應分析
整合九	徐澤志教授	元智大學	89-2212-E-155-025	子計畫四：磨擦機制於「工程表面」後續塑性成型中之研究
	徐澤志教授	元智大學	89-2212-E-155-026	子計畫五：工程表面理想製程中表面狀況及殘留應力之光學量測模式

NSC-B1 機械工程整合型：一般 主持人：林見昌教授、林仁輝教授 地點：新工學大樓 E405 時間：10:50-12:10

組別	主持人	學校名稱	計畫編號	計畫名稱
整合十	林仁輝教授	成功大學	89-2212-E-006-151	化學機械拋光平坦化之理論探討與製程開發 (2/3) -總計畫
	郭炳林教授	成功大學	89-2212-E-006-149	子計畫一：化學機械研磨用分散劑之合成與其拋光清洗效果之探討
	林仁輝教授	成功大學	89-2212-E-006-150	子計畫二：圓形化學機械拋光磨理理論之建立以及研磨性能測試印證分析
	林見昌教授	虎尾技術學院	89-2212-E-150-028	提升圓形工作精度之研究-總計畫
	林見昌教授	虎尾技術學院	89-2212-E-150-029	子計畫一：PC-BASED 真圓度儀之偏心補正機構之建立
	龐文郁副教授	虎尾技術學院	89-2212-E-150-030	子計畫二：建立光學尺循軌連桿檢測數值工具機之性能及應用
	林維新助理教授	虎尾技術學院	89-2212-E-150-031	子計畫三：圓形工作加工之刀具可靠度研究
	林博江助理教授	虎尾技術學院	89-2212-E-150-032	子計畫四：PC-BASED 控制汽車床控制參數補正及軌規規劃
	葉銘泉教授	清華大學	89-2212-E-007-114	經使用劣化後之 GR/PEEK 複合材料修補研究 (2/3) -總計畫
	戴念華副教授	清華大學	89-2212-E-007-107	子計畫一：受預扭矩轉疲勞之 GR/PEEK 複合材料經修補後的靜態及疲勞性質研究 (11)
整合十一	單秋成教授	台灣大學	89-2218-E-002-035	子計畫二：受低能重衝擊之 GR/PEEK 複合材料經修補後的靜態及疲勞研究
	鄭榮和教授	台灣大學	89-2212-E-002-126	子計畫三：含缺陷 GR/PEEK 複合材料修補後之機械性質探討
	吳文方教授	台灣大學	89-2212-E-002-128	子計畫四：纖維強化複合材料損傷及修補之模擬
				子計畫五：GR/PEEK 複材在變動負荷下之疲勞特性及可靠度研究

NSC-B2 機械工程整合型：一般

主持人：黃佑民教授、康淵教授

地點：新工學大樓 E405

時間：13:10-14:50

組別	主持人	學校名稱	計畫編號	計畫名稱
整合十三	陳建祥教授	清華大學	89-2212-E-007-106	光碟機關鍵組件之設計與實作 (3/3) - 總計畫
	蕭德瑛教授	清華大學	89-2212-E-007-110	子計畫一：高速旋轉光碟機之轉動機構之分析與設計實作
	陳建祥教授	清華大學	89-2212-E-007-109	子計畫二：光碟機讀取頭與主軸伺服器控制系統之設計與實作
	陳文良教授	清華大學	89-2212-E-007-115	子計畫三：光碟機讀寫頭聚焦與尋軌之訊號分析
	葉廷仁助理教授	清華大學	89-2212-E-007-111	子計畫四：光碟機之系統鑑別與模型建構
整合十四	康淵教授	中原大學	89-2218-E-033-007	六自由度 STEWART 平台式電腦數控工具機之研發 (111) - 總計畫
	王世明助理教授	中原大學	89-2218-E-033-010	子計畫一：六自由度 STEWART 平台式工具機之組態分析、精度分析與誤差補償
	張義鋒教授	中原大學	89-2218-E-033-011	子計畫二：六自由度 STEWART 平台式工具機之結構動態及切削特性研究
	丁繡副教授	中原大學	89-2218-E-033-009	子計畫三：六自由度 STEWART 平台式工具機之控制器研究
	康淵教授	中原大學	89-2218-E-033-008	子計畫四：六自由度 STEWART 平台式工具機之主軸開發及特性研究
整合十五	黃佑民教授	台灣科技大學	89-2212-E-011-036	智慧型金屬板材成行 CAE 軟體之開發與整合研究 (1/3) - 總計畫
	向四海副教授	台灣科技大學	89-2212-E-011-038	子計畫一：金屬板材深引伸成形製程之分析
	李經綸副教授	淡江大學	89-2212-E-032-007	子計畫二：金屬板材深引伸耳緣成形製程之分析
	黃佑民教授	台灣科技大學	89-2212-E-011-037	子計畫三：金屬板材彎曲成形製程之分析
	劉春和副教授	清雲技術學院	89-2212-E-231-003	子計畫四：金屬板材方杯引伸成型製程之分析

NSC-B3 自動化整合型計畫：一般

主持人：徐保羅教授、董基良教授

地點：新工學大樓 E405

時間：15:10-16:50

組別	主持人	學校名稱	計畫編號	計畫名稱
整合一	徐保羅教授	交通大學	89-2218-E-009-035	結合尖端機電技術與資訊智慧之開放式控制器 (3/3) - 總計畫
	胡竹生教授	交通大學	89-2218-E-009-036	子計畫一：應用離散事件控制理論及先進資訊電子技術之開放式控制器平台研究
	張盛國副教授	交通大學	89-2218-E-009-037	子計畫二：伺服馬達控制之電子單晶片電路設計
	徐保羅教授	交通大學	89-2218-E-009-034	子計畫三：CNC 系統的參數估測及智慧型監控系統設計
	成維華教授	交通大學	89-2212-E-009-055	混成式可調速率環場視聽系統 (1/3) - 總計畫
整合二	成維華教授	交通大學	89-2212-E-009-056	子計畫一：可調速率環場視聽研發
	白明憲教授	交通大學	89-2212-E-009-057	子計畫二：銀幕用矩陣式平面喇叭之研發
	鄭時龍助理教授	大華技術學院	89-2212-E-233-006	子計畫三：廣角球面影像可程化處理
	董基良教授	中央大學	89-2212-E-008-026	汽車駕駛模擬器系統之研製 (2/2) 總計畫
	董基良教授	中央大學	89-2212-E-008-027	子計畫一：駕駛虛擬實境系統之研究
整合三	馮君平教授	中正理工學院	89-2212-E-014-014	子計畫二：駕駛座艙系統之設計與製作
	鄭銘章教授	中央大學	89-2212-E-008-028	子計畫三：駕駛運動平台之設計與製作