

**半導體關鍵設備研發-子計畫二：**  
**0.35 $\mu$ m 或更高技術之單晶圓化學氣相沉積反應器(I)**

計畫編號：NSC 87-2218-E-002-005

執行期限：86/08/01~87/07/31

主持人：劉致為                      台灣大學電機系

E-mail：chee@cc.ee.ntu.edu.tw

**一．中文摘要：**

首先我們用一個簡易的熱輻射模型來討論光強度分佈和能量的消耗,再由熱傳方程式,我們可以預測晶圓的邊緣在暫態與穩態中的不均勻度,此外我們發展了一套小訊號模型可將熱傳方程式線性化,而且還可預測暫態生命期。準確的模擬晶圓的發射率可作用修正的溫度測量,並發展出新型的溫測方法,利用雷射消融的技術在矽晶圓上製作光柵。藉由光學方法測出光柵週期隨溫度之變化,即可測得溫度,準確度在 $1^{\circ}\text{C}$ 內。最後,我們比較了各家製作快熱製程設備廠商的規格,和根據前面的討論,我們設計一套8吋的快熱製程的機台。

**英文摘要：**

First, we will address issues of the photon intensity distribution and the power consumption by a simplified radiation thermal model. Based on heat conduction equation, the transient and steady state non-uniformity of temperature on the wafer edge can be predicted. Beside we develop a set of small signal model to make heat conduction equation linear, also can predict the transient lifetime. The wafer emissivity is exactly modeled. We can make temperature measurement with emissivity correction. A new temperature measurement technique has been developed. A grating is fabricated on Si wafer by laser ablation. Measuring the grating periods can indicate the corresponding temperature by optical diffraction method. Finally, we make the comparison on the specification of every vendor and

by previous study to design a 8" RTP machine.

**二．計畫緣由與目的**

在晶圓尺寸大幅增加,傳統的 batch process 因建廠成本太高,與其它單一晶圓的製程不相容,因此傳統的 batch process 均朝向單晶圓製程,利用 Rapid thermal process (RTP) 作為其加熱模組,並形成 cluster tool。RTP 可降低 thermal budget,提高元件效能,增強製程控制,與 cluster tool 相容,快速的產品製程,和降低建廠成本

**三．研究方法與成果**

本計劃主要是探討以快熱製程系統的設計及其特性模擬,希望藉此努力下,12吋晶圓廠能夠無慮的使用快熱單一晶圓集結式製程。

**A. 燈管照射強度分佈**

圖一為模擬燈管照射強度 profile,晶圓到燈管的距離  $h$  從一至六公分,共有十八根燈管,其間隔  $\Delta S$  等距為兩公分,其強度分佈與  $h/\Delta S$  的比率有關,比率愈小,照射愈不均勻,在  $h/\Delta S < 1$ ,便會有 1% 的 ripple,推算下大約會有  $3^{\circ}\text{C}$  的溫差,但若增加  $h$  則會造成晶圓上總照射強度減少,勢必要再增加能源的消耗,因此在  $h \approx \Delta S$  時有其最佳化,圖二為在  $h=2\text{cm}$  時 2D 模擬的結果,晶圓將放置在中央均勻的區域。

**B. 晶圓溫度在暫態與穩態之分析**

由前面的結果可知,只要在  $h \geq \Delta S$  時,照射的均勻便可相當好,但由於燈管只照射晶圓的一面,而側面則只是靠 chamber 內壁的反射,圖三為模

擬八吋晶圓在不同的等效邊緣吸收率的穩態溫度分佈情況，此時假設正面的有效吸收率為 0.7，可以發現當側面的吸收率為正面的一半也就是 0.35 時會有最均勻的情況發生，而其邊緣不均勻的區域大約有一、兩公分，而在 0.25:m 的標準中，邊緣與中央在穩態時的溫差要在 3 度以內，圖四便是穩態 800°C 時將各種尺寸的晶圓與 edge width(溫差超過3度的區域的徑向距離)的關係，可知晶圓的尺寸越大可用的區域也就越大，而且由 4 吋與 6 吋可知厚度越薄則溫度分布較均勻。在暫態的分析方面，於晶圓一開始加熱時，在邊緣會有正面與側面兩個方向的熱源，因此在加熱初期溫度會略高於中央，而到了高溫時熱幅射變成了最主要，因此溫度又低於中央，圖五為邊緣與中央的溫差再除以溫度的平均值與時間的關係，這裡將剛開始加熱到邊緣溫度又降回和中央一樣的這段時間定義為 equalized time，而 stabilized time 則是從 equalized time 到穩定態的 90% 的地方，由此圖可知愈高的穩態溫度，其曲線愈陡峭，而且它們雖然 equalized time 各不相同，但 stabilized time 確很相似。此外我們發展了一套小訊號模型可將熱傳方程式線性化，而且還可預測暫態生命期，見圖六，此生命期和 equalized time 雖然有相似的定性結果，但定量上不同，這是由於他們的定義上不同。

### C. 溫度測量

用 pyrometry 作溫測，必須要能準確的模擬晶圓的發射率對溫度與波長關係，見圖七，對於長於矽晶圓上的多層結構、晶圓厚度和粗糙度對晶圓的發射率的影響亦有研究，再來便可作用發射率來修正的溫度測量對瞬時溫度分布。但由於發射率與溫度、波長、多層結構、pattern、chamber、粗糙度... 有關，是個相當複雜的函數，而 prometry 也只能用於高溫測量 (>400°C)，因此也有用光柵來作溫測的技術，其基本溫測原理為利用矽

光柵的熱膨脹來測量晶圓溫度，較傳統方法方便，精確，見圖八，我們用雷射消融的技術在矽晶圓的表面上製作光柵，見圖九，由此來作溫測，為了增加靈敏度，必須使用到大的繞射角，其結果見圖十，可以發現理論值跟實驗值相當一致。

### F. Current and Future work

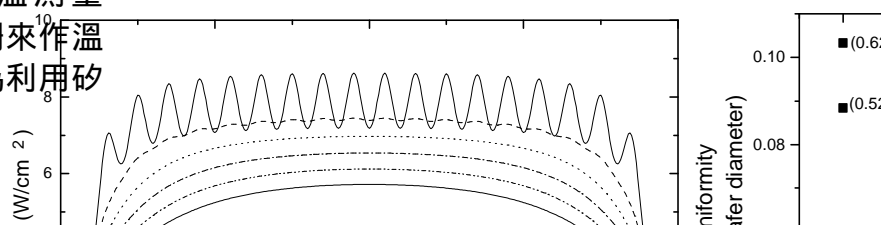
最後，我們比較了各家製作快熱製程設備廠商的規格，和根據前面的討論，我們設計一套 8 吋的快熱製程的機台，見圖十一，我們 pyrometry 的波長選用 8 $\mu$ m，這樣不只可以避免燈管干擾，還可使晶圓看起來更光滑，此外，我們還設計了 loadlock 來保持主 chamber 的真空度與潔淨度，而且還用 MESC 標準介面，希望將來能與其他製程模組成 cluster tool，見圖十二。

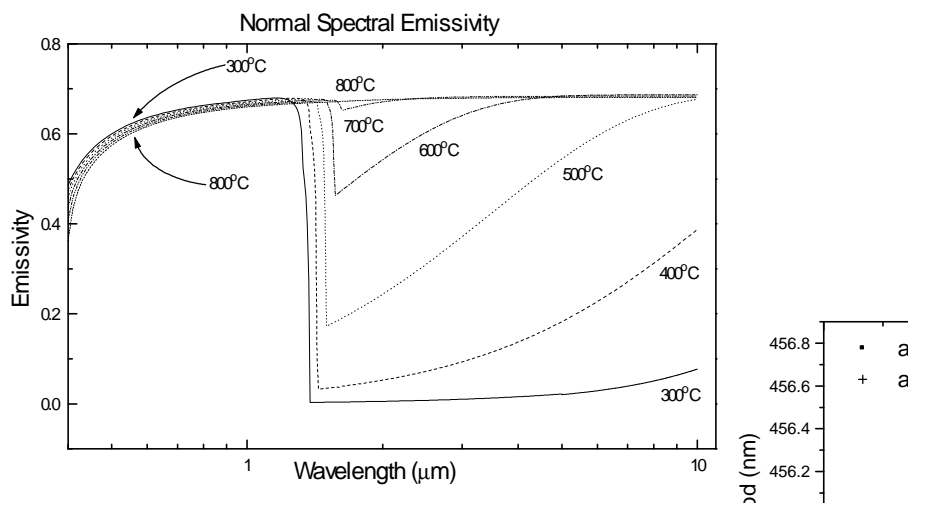
### 四. 結論與討論

我們最終目標是希望能連結成一集結式的快熱製程，而且發展成為下一代 IC 產業的製程技術，以降低建廠成本和產品的製程週期。

### References

- [1] J. M. Dilhac, N. Nolhier, C. Ganibal, and C. Zanchi, *IEEE Trans. Semiconduct. Manufact.*, vol. 8, no. 4, pp. 432-439, Nov. 1995.
- [2] H. A. Lord, *IEEE Trans. Semiconduct. Manuf.*, vol. 1, No. 3, pp. 105-114, 1988
- [3] R. Kakoschke, E. Bubmann, and H. Foll, "Modelling of Wafer Heating During Rapid Thermal Processing," *Appl. Phys. A.*, vol. 50, p. 141, 1990.
- [4] C. W. Liu, et al. submitted to Rapid thermal and integrated processing VII, *Mat. Res. Soc.*, spring, 1998. (supported by NSC 86-2221-E-002-089)
- [5] C. W. Liu and J. C. Sturm, Rapid Thermal and Integrated Processing VI, *Mat. Res. Soc.*, Vol. 470, 1997. (partially supported by NSC 86-2215-E-002-041)





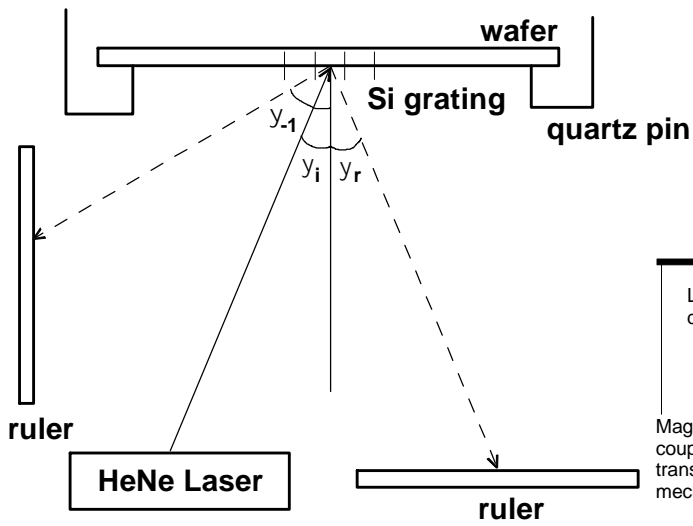


Fig.8 A schematic set-up of Si grating temperature measurement for the RTP.

Fig.11 The RTP(rapid thermal process) machine.

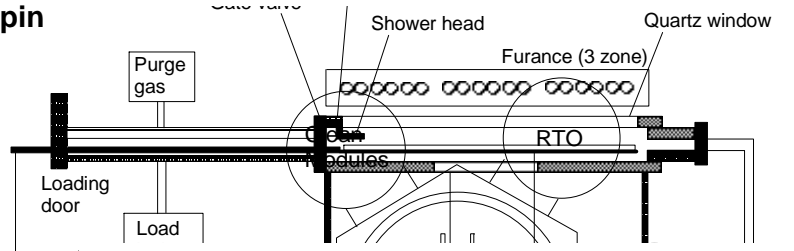


Fig.12 Schematic diagram of the ideal cluster tool.

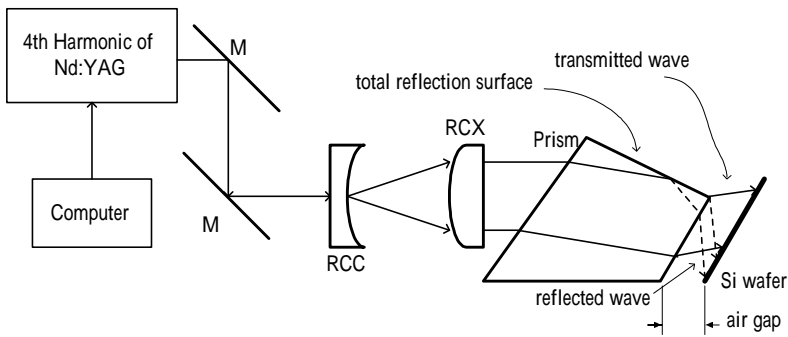
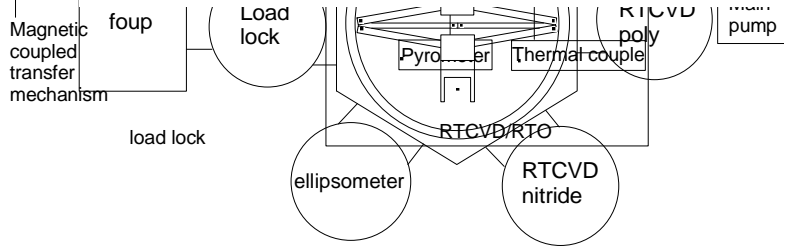


Fig.9 Schematic diagram of the grating fabrication on Si wafer using laser beam interference.

Fig.10 Temperature measurement results for both increasing and decreasing temperature scans.