

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

快速熱機台設備及製程研發(1/3)-子計畫二 超高真空快熱化學沉積反應機台之製作與應用

計畫編號：NSC 89-2218-E-002-017

執行期限：88/08/01~89/07/31

主持人：劉致爲 chee@cc.ee.ntu.edu.tw 台灣大學電機系

計畫參與人員：李敏鴻、張書通 台灣大學電機系

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；並且為了配合快熱加熱的特性，模擬晶圓降溫的曲線在有無反射體的情況下，當溫度最高溫(1000°C)降到 600°C ，時間上提早了 1 至 3 秒，這對於只有數秒鐘的退火大有幫助，最後分析可知氣體流量對溫度的影響力沒有壓力來的重要。因此機台同時具有快熱與超高真空的特性。

關鍵字：RTCVD 機台、Turbo 鋪浦

英文摘要：

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 ploy-Si and measure it. 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 to 3sec as temperature from peak value (1000°C) down to 600°C . This is available for anneal of several seconds like RTA. Finally, it has been found that pressure has more influential than flow during cooling process. Hence our chamber have properties of rapid thermal and ultra high vacuum at the same time.

Keywords :RTVCD chamber、turbo pump

二. 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 $0.05\mu\text{m}$ ，使得矽磊晶厚度必需在 $2\text{nm} \sim 5\text{nm}$ 之間，因此超薄矽磊晶的成長成為重要的研究課題。此外，接面深度也會淺至 8nm ，減少在退火時離子佈植後的擴散，因此 spike ramp 的也就相當有幫助。

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. 機台的均勻度測試

圖四為用我們的 RTO/RTCVD 機台成長的超薄氧化層厚度之 mapping，為 4 吋晶圓，成長條件為溫度 900°C，時間 60 秒，壓力在 500mbar，流量為 O₂ 500sccm, N₂ 500sccm，可以發現其厚度是 2~3nm，可能影響厚度的變因有溫度、時間、壓力和流量。首先固定壓力跟流量不變，改變溫度與時間，溫度分別為 900、950 和 1000°C，時間為 1、2 和 4 分鐘，成長了九組氧化層。圖五，為氧化層厚度跟成長時間和溫度的關係，實線部份為我們的模擬。我們清洗晶圓的方式為使用 HF dip 再用 H₂ bake。在 900°C，2 分鐘的狀況下另外再長兩組氧化層，用不同方式來處理晶圓表面，因此可知厚度與先前的表面處理非常有關。

D. Spike ramp

在 RTP 機台中，升溫速率可以由燈管強度來控制，在降溫，晶圓降溫的機制大部份來自於輻射，所以說降溫曲線並不能由燈管強度來控制，研究加速降溫的方法，圖八為實驗在相同的電壓下，氣壓與氣體流量對溫度升降與最高點的差異，可以發現氣壓的影響大於氣流影響，圖九為晶圓降溫曲線和我們 fitting 的結果，同時我們也模擬降溫時將反射體拿掉，這樣可以扣掉晶圓自己輻射經由反射體回來的量，還有燈管餘熱經反射體的量，當溫度從最高溫(1000°C)降到 600°C，時間節省 1 至 3 秒，圖十則是縮短時間與溫度的關係圖，可以發現熱經由對流而帶走的比傳導的多。

E. 電性量測

圖九、圖十與圖十一分別是我們以 RTO 在溫度 900°C 壓力 250mb 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。在圖十一中，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，如圖十二，而 PMOS 偵測器也有類似大小的無光電流。

四. 結論與討論

利用現有的 RTCVD 機台，換裝超高真空系統，第一年已將完成 UHV 之反應室，待 bake 後，真空度應可達 10⁻⁷ torr 配合第二年的管路系統，已具有 UHV 製程的能力，即可成長低溫矽磊晶。在 RTA 中，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的差異，這對於在 RTA 只有數秒鐘的退火大有幫助。

五. 參考文獻

- [1] M. I. Current et al., *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* vol.470, pp. 325-334, 1997
- [2] M. Boin and W. Lerch, *Materials science in Semiconductor Processing*, vol. 1, pp. 195-200, 1998.
- [3] C. W. Liu, M. H. Lee, C. Y. Chao, C. Y. Chen, C. C. Yang, and Y. Chang Rapid Thermal and Integrated Processing VII, *Mat. Res. Soc. Proc.* 525, pp.121-126, 1998(supported by NSC 87-2218-E002-005)
- [4] M. H. Lee. and C. W. Liu, Spring meeting Electrochemical Society, Toronto, Canada, to be published in advances in Rapid Thermal Processing, ECS proceeding, 2000.
- [5] S. Guo, A. Chen, C. W. Liu, A. Lin, and M. Lan, International Symposium on Semiconductor Manufacturing(ISSM), Santa Clara, Oct., 1999
- [6] C. W. Liu, J.C. Sturm Rapid Thermal and Integrated Processing VI, *Mat Res Soc Proc Vol 470* pp.127-132, 1997.(partially supported by NSC 86-2215-E-002-041)
- [7] C. W. Liu, Miin-Jang Chen, I. C. Lin, M. H. Lee, and Ching-Fuh Lin, to be published in *Appl. Phys. Lett.* (Aug., 2000)

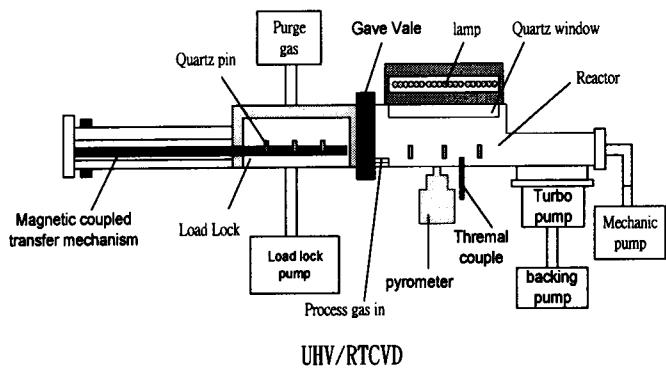


Fig.1 The diagram of the UHV/RTCVD equipment.



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

Copyright (c) 2000, Kluwer Academic Publishers.

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

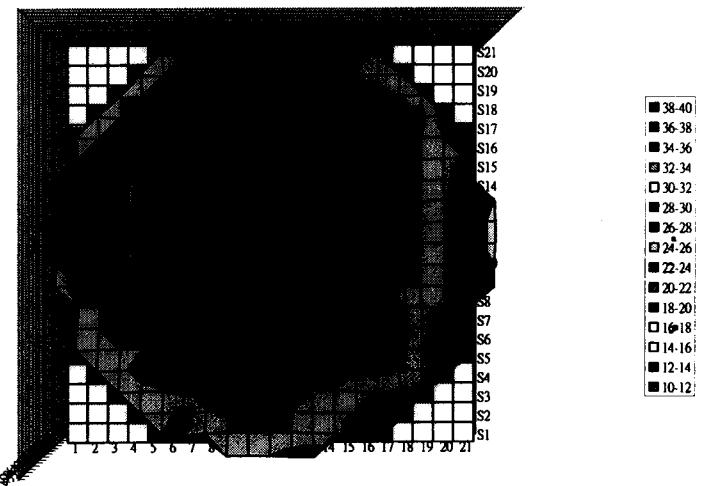


Fig.4 The SiO₂ thickness mapping of wafer. The growth condition is 900°C, 1min, 500mbar. The O₂ and N₂ flow from left to right in this plot, and the rate is O₂ 500sccm and N₂ 500sccm.

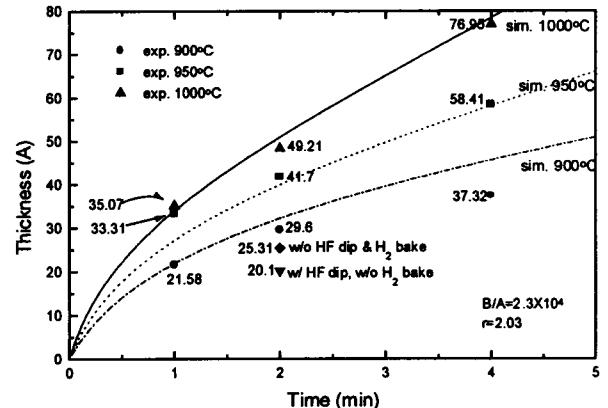


Fig.5 The SiO₂ thickness vs. time with different temperatures. The dots and lines are experiment and simulation data.

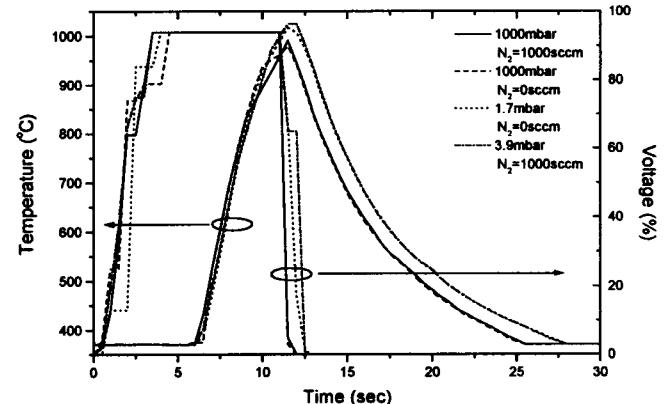


Fig.6 For the same power input, the temperature profiles have difference with different pressure and flow rate. But the flow rate dependence is not apparent.

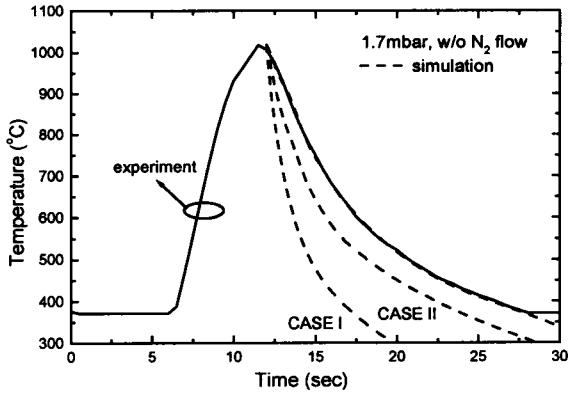


Fig. 7 We simulated temperature profile with and without the reflector. The experiment condition is 1.7 mbar

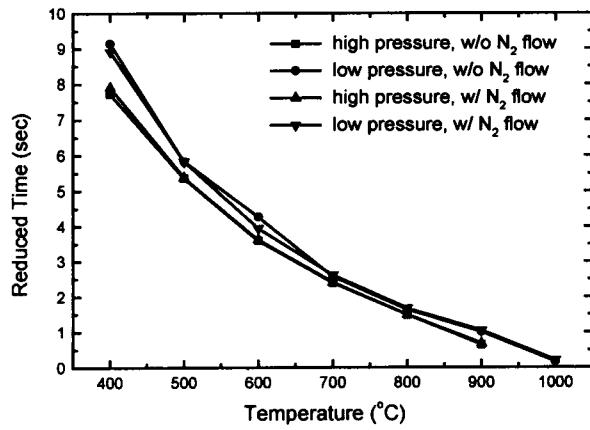


Fig. 8 The reduced time is difference between with and without reflector. There is longer reduced time as lower

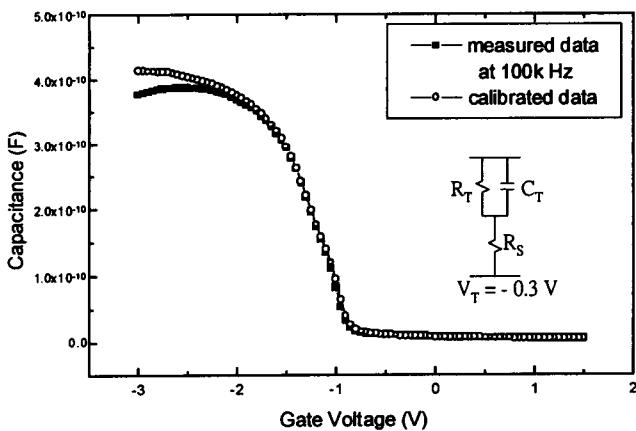


Fig. 9 A C-V plot of a NMOS tunneling diode. The thickness measured by ellipsometer is about 2.3nm. The thickness extracted from C-V is 2.6nm. T

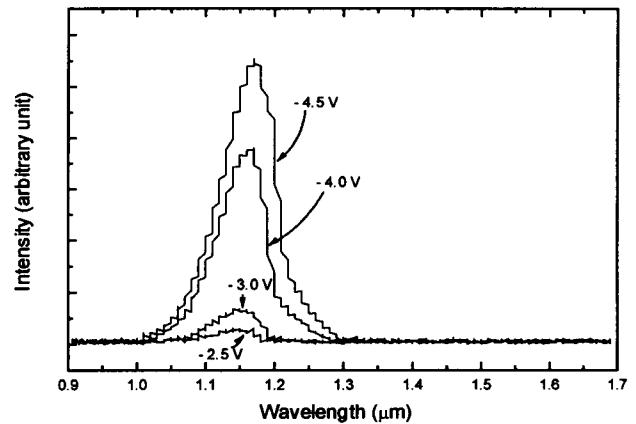


Fig. 10. Emission spectra of NMOS tunneling light emitting diodes.

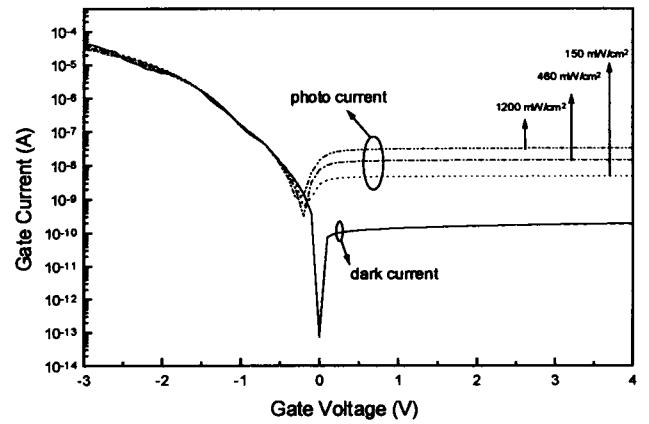


Fig. 11. Photo and dark currents of a NMOS tunneling diode. Dark current does not change after light exposure. Device size is $3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$. The photo current was generated by metal halide lamps with spectra similar the sun.

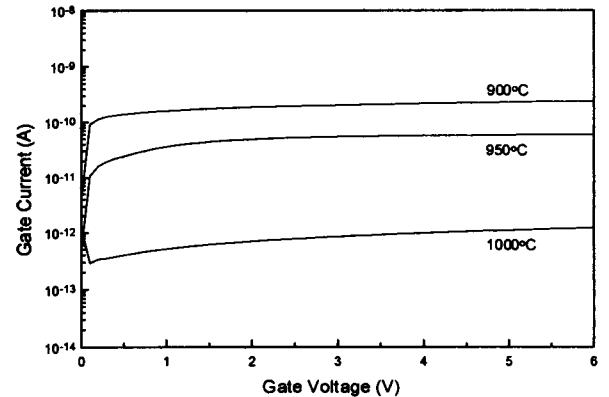


Fig. 12 The dark current of NMOS tunneling light detectors with oxide grown at different temperature. High growth temperature can decrease the dark current. The current spike around 0V for 1000°C sample may be due to the tunneling through the interface states.