

快速熱機台設備及製程研發(3/3)
子計畫一:快速熱重覆脈衝加熱製程系統之研究(3/3)
第三年(90/8~91/7)結案報告
計畫編號: NSC90-2212-E-002-225

主 持 人: 胡 振 國 台大電機工程學系教授
共同主持人: 馮 蟻 剛 台大電機工程學系教授
共同參與研究生: 洪朝基 張長昀

一、摘要：

在本年度之研究中，我們針對重覆脈衝加熱技術所引起晶圓上熱應力及製作在上面元件特性之影響，進行相當前瞻性之研究。第一部份先進行晶圓經重覆脈衝加熱預處理(Repeated Spike Treatment - RST)後再予以生長氧化層，從氧化層厚度分布及均勻度，和晶圓表面缺陷分布，可得知 RST 會對晶圓背面有與承接台接觸之區域，產生相當多的缺陷，該區域在事後的熱氧化生長時，氧化速率較快，其 SiO₂/Si 界面特性較差，而所製 MOS 元件之漏流亦較大且不均勻。第二部份則對直接重覆脈衝加熱氧化(Repeated Spike Oxidation - RSO)生長氧化層與傳統快速熱氧化(Rapid Thermal Oxidation - RTO)生長之氧化層，進行電特性差異比較之探討，發現在超薄氧化層 MOS 元件中，雙界面電荷橫向不均勻分布引起之 C-V 變形相當明顯嚴重，而且跟氧化後退火溫度之高低有關，經過 800°C 之退火處理，RSO 與 RTO 之元件 C-V 特性相仿，但是 RTO 在氧化後退火時，氧化層厚度變厚，造成聚集區電容值下降，而 RSO 之氧化層厚度幾乎不變，這在經 850°C 退火之樣品中格外明顯可見，原因為 RSO 因有較低之溫度處理，使得氧化層內殘餘氧原子較少，在氧化後退火過程中氧原子與矽基再氧化之機會減少，這對超薄閘極氧化層製程相當重要。

關鍵詞：快速熱、重覆脈衝氧化、重覆脈衝處理、晶圓熱應力、均勻度、超薄閘極氧化層

Abstract

In this research, we focus on the study on the effect of thermal stress induced in wafer due to

repeated spike treatment, and also the variation of the qualities of oxides grown on the treated wafers. In the first part, we found that when the wafer received repeated spike treatment (RST) before oxidation first, the oxidation rates on the areas that the backside of wafer had been contacted with the susceptors are significantly enhanced. The amount of defects on the areas mentioned above are significantly large. The MOS devices fabricated on the above areas exhibit larger interface trap density and also larger variation in current leakage distribution. In the second part, we compared the electrical characteristics of MOS devices with oxides grown by repeated spike oxidation (RSO) and by conventional rapid thermal oxidation (RTO). It was found that in ultra thin oxide regime, the double side lateral charge non-uniformity effect is significant and is important to the stretch-out of C-V curves. The non-uniformity effect is reduced when the post-oxidation anneal (POA) temperature is increased. After 800°C POA, the RSO and RTO samples exhibit similar C-V behavior. However, it was found that the oxide thickness of RTO sample is reduced after POA but that of RSO isn't. This phenomenon is more pronounced when the POA temperature is up to 850°C. The main reason for the above phenomenon is due to the less residue oxygen atoms left at the oxide in RSO process since it has lower temperature than RTO in the repeated duration of heating. The above mentioned characteristic of RSO oxide is useful to the application of ultra thin gate oxide process.

Keywords: Rapid Thermal, Repeat Spike Oxidation, Repeat Spike Treatment, Wafer Thermal Stress, Uniformity, Ultra Thin Gate Oxide

二、緣由與目的：

在十二吋晶圓極大型積體電路(ULSI)製程中，快速熱製程(Rapid Thermal Process - RTP)已被廣泛的使用，因為它具有很小的總熱能消耗，可單晶片自動化操作，有多元性的溫度、壓力、氣體變化控制等之優點，因此有關 RTP 之研究也漸形重要。在本計畫前兩年之研究中，我們提出了新穎的重覆脈衝式加熱技術，它是被應用在快速熱製程中的一種新技術，其特徵就是在製程過程中，溫度反覆上升和下降，就像一個方波。在過去的研究中顯示在氧化的過程中採用重覆脈衝式加熱(RSO)可以改善閘極氧化層厚度的均勻性 [1]，同時可改善超薄氧化層之漏電流[2]，由於重覆脈衝式加熱方式為目前商用機台所沒有，因此本研究成果具相當前瞻性之參考價值。

在本年度之研究成果中，我們發現利用重覆脈衝式加熱雖可控制氣流分布，使晶圓溫度分布均勻，進而使氧化層厚度均勻，而 MOS 元件之漏流也因而減少，但是晶圓表面是或多或少會受到熱應力影響的，即使是正常之 RTO 製程亦無法避免的，相關之熱應力效應研究當然重要，因此本研究為了強化熱應力現象，特利用重覆脈衝加熱技術，將其施加於晶圓氧化之前，也就是 RST 技術，藉此探討出重要之應力相關之問題。

三、研究方法與成果：

(A) 重覆脈衝加熱處理(RST)部份：

將一個三吋晶圓切成兩半，其中一片給予傳統之快速熱氧化(Rapid Thermal Oxidation - RTO)生長氧化層，其加熱溫度時序及氧化層厚度分布如圖一所示，可看出厚度分布相當均勻。

將另一片晶圓先予以重覆脈衝加熱處理(Repeated Spike Treatment - RST)，然後再給予正常之氧化生長，其 RST 加熱溫度時序及氧化層厚度分布如圖二所示，可清楚看出晶圓在承接台接觸處之正面區域有較厚之氧化層，顯示出在該區有較快的氧化層生長速率。

圖三為上述有較快生長速率區域表面之圖

像，發現有許多的缺陷呈現，且以類似同心圓方式圍繞著一特定中心，該中心相對位置為晶圓背面與承接台接觸處，相信由於 RST 溫度之變化使得晶圓出現熱應力，該應力可造成甚大的晶格缺陷，進而使氧化時之生長速率提升。在此需特別提醒，在正常 RTO 生長氧化層時，免不了有大小不同之熱應力，均會對晶圓形成缺陷及氧化生長速率改變，本研究利用特殊之 RST 技術，將該熱應力效應予以放大，相當具前瞻參考性，值得注意。

圖四為經 RST 再氧化及正常氧化所得氧化層厚度及均勻度隨氧化時間變化之關係圖，可看出 RST 之樣品其平均厚度較厚，而且其均勻度較差，理由如前段所述。圖五為所製 MOS 元件之閘極電流密度分布，可看出經 RST 處理之氧化層元件，其漏流較大而且分布較不均勻。圖六為 MOS 元件之 100K 及 10KHz C-V 曲線，兩頻率之 C-V 曲線相差愈大即表示界面陷阱密度愈大，所以可知經 RST 處理之 SiO_2/Si 界面含有較大之缺陷密度。

(B) 重覆脈衝氧化(RSO)與傳統快速熱氧化(RTO)生長氧化層之比較部份：

一般而言，氧化層內之電荷橫向空間分布很難均勻分布，也就是說存在橫向不均勻分布(lateral non-uniformity)。本研究發現，在氧化層厚度接近 3nm 時，在金屬/氧化層及氧化層/矽基兩個界面均會出現電荷橫向不均勻分布，簡稱雙界面電荷橫向不均勻分布現象(double-side lateral non-uniformity effect)，造成 C-V 曲線更嚴重之變形失真(stretch out)，實驗與理論之 C-V 曲線如圖七所示，由該理論可清楚解釋所觀察到之 C-V 曲線現象，本雙界面電荷橫向不均勻分布模型為創新提出，極具學術參考價值。

圖八為 RSO 氧化層經過 600、700、及 800°C 氧化後退火(post oxidation anneal - POA)後之元件 C-V 曲線，可看出前述雙界面電荷橫向不均勻分布現象會因退火溫度之升高而漸改善，但仍存在不同程度之電荷橫向不均勻分布，無法去除。

圖九與圖十分別為 RSO 與 RTO 氧化層元

件在經 700 及 800°C POA 退火後之 C-V 曲線比較，可看出經過足夠高溫之 POA 後，兩者之 C-V 特性可趨於一致。

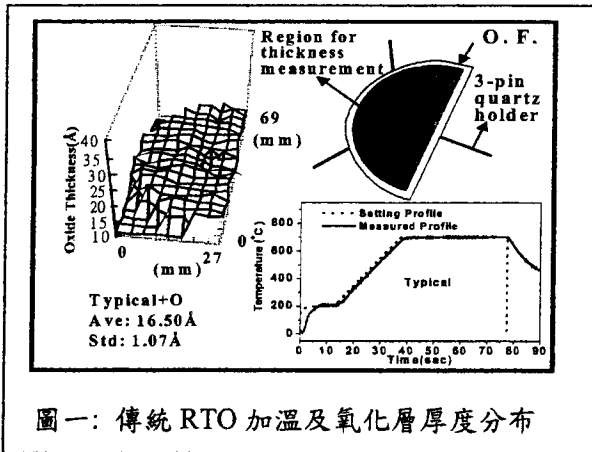
在 POA 之實驗中發現另一重要現象，在圖十一中傳統 RTO 氧化層在經 850°C POA 後，雖然 C-V 曲線之電荷橫向不均勻分布現象減少了，但是氧化層厚度卻明顯變厚了，造成 C-V 曲線在聚集區(accumulation region)之電容值變小，這與氧化時氧化層內有殘餘氧原子有關，在 POA 時該氧原子可與矽基之矽原子氧化成新的氧化層，造成氧化層變厚。但是對 RSO 氧化層而言，該現象卻沒有出現，如圖十二所示，亦即經 850°C POA 後，電荷橫向不均勻分布獲明顯改善，而氧化層厚度卻不改變，這對超薄閘極氧化層之生長是相當重要的。由於 RSO 製程之溫度忽高忽低，氧化層內之殘餘氧原子在低溫時之濃度應較少，因此在 POA 時自然較少再氧化，使得氧化層厚度不變。

四、結論與討論：

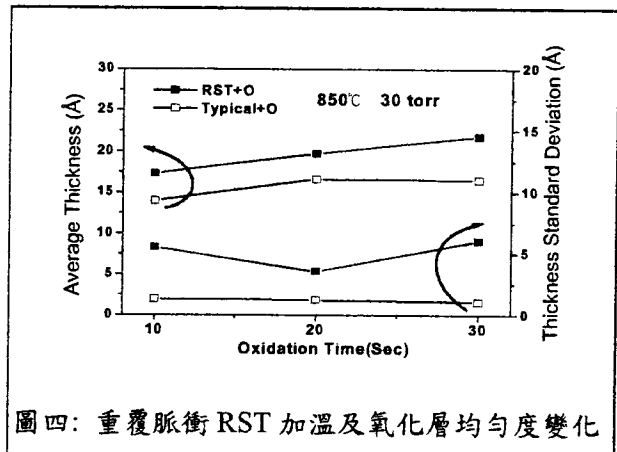
本研究之主要貢獻為設計並實際研發出一新穎的重覆脈衝加熱機制之快速熱機台，經由實驗證明該重覆脈衝加熱可改善溫度分布及氧化層均勻度，並已發表相關論文於國際一流期刊[1,2]。在本年度內，更利用 RST 技術將熱應力效應有效放大，使得晶圓在 RTP 中受到熱應力之影響效應可以藉此研究得知，相關之氧化速率改變及均勻度變化均予以說明及解釋，相關之成果亦已整理投稿發表中[3]。此外，本研究亦提出一創新的雙界面電荷橫向不均勻分布模型，對超薄氧化層 MOS 元件之 C-V 變形現象嚴重化有甚佳之解釋，而 RSO 與 RTO 氧化層在經不同 POA 退火處理後之 C-V 變化，亦經由本模型而進行比較及解釋，相信以上所研發之技術及理論可以提供業界及學術界適時之參考。

五、參考文獻：

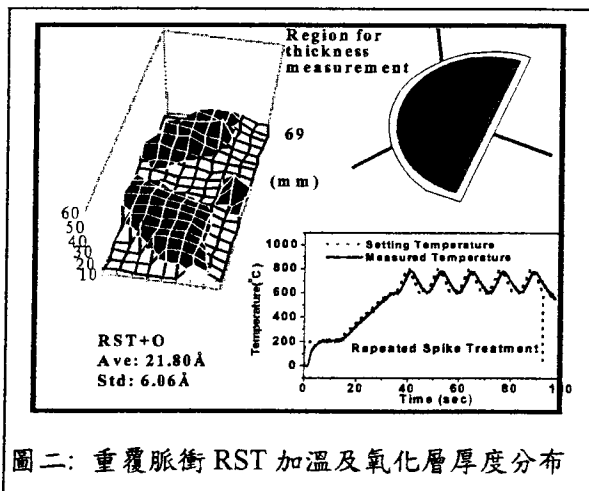
- [1] Chao-Chi Hong, Chuang-Yuan Lee, Yuan-Long Hsieh, Chean-Chung Liu, I-Kong Fong, and Jenn-Gwo Hwu, "Improvement in Oxide Thickness Uniformity by Repeated Spike Oxidation (RSO)", *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol.14, No.3, PP.227-230, August 2001.
- [2] Chao-Chi Hong, Chang-Yun Chang, Chaung-Yuan Lee, and Jenn-Gwo Hwu, "Reduction in Leakage Current of Low-Temperature Thin-Gate Oxide by Repeated Spike Oxidation Technique", *IEEE Electron Device Letters*, Vol.23, No.1, PP.28-30, January 2002.
- [3] Chao-Chi Hong, Chang-Yun Chang, and Jenn-Gwo Hwu, "Thermal Stress at Wafer Contact Points in Rapid Thermal Processing Investigated by Repeated Spike Treatment before Oxidation", *Journal of Applied Physics*, (revised).



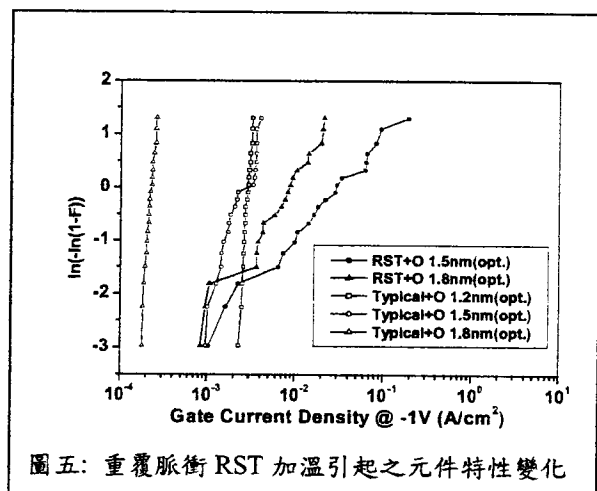
圖一：傳統 RTO 加熱及氧化層厚度分布



圖四：重覆脈衝 RST 加熱及氧化層均勻度變化



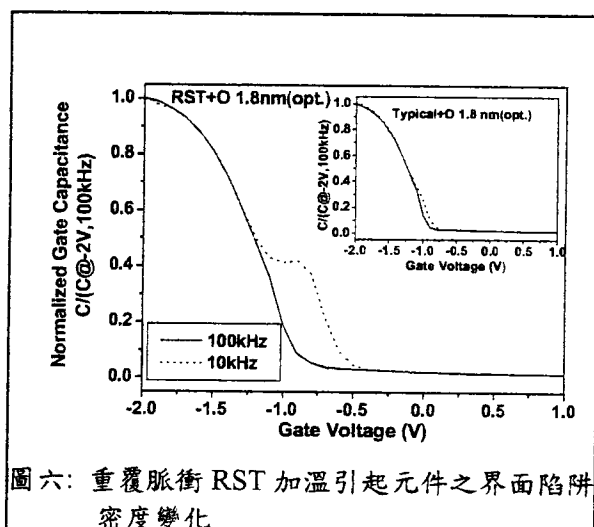
圖二：重覆脈衝 RST 加熱及氧化層厚度分布



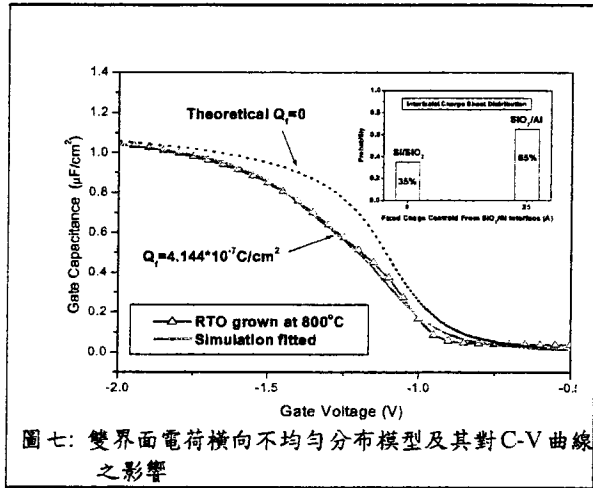
圖五：重覆脈衝 RST 加熱引起之元件特性變化



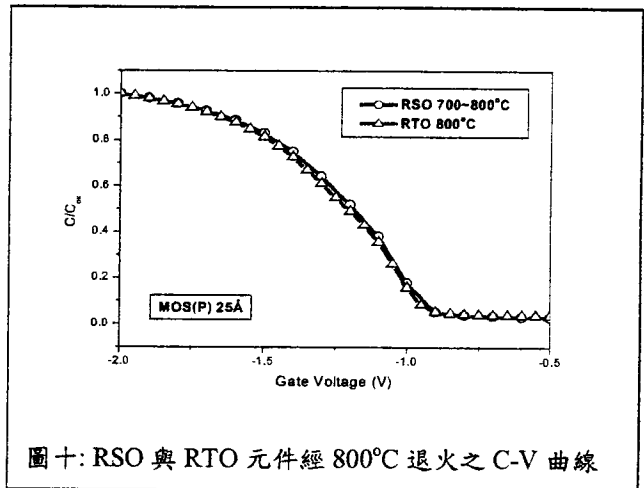
圖三：重覆脈衝 RST 處理後晶片表面缺陷



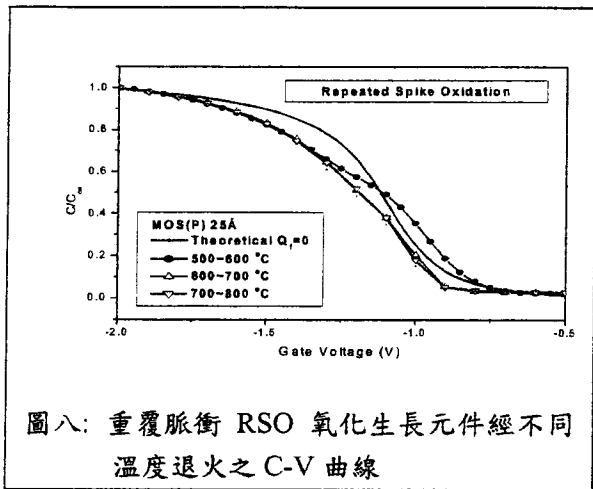
圖六：重覆脈衝 RST 加熱引起元件之界面陷阱密度變化



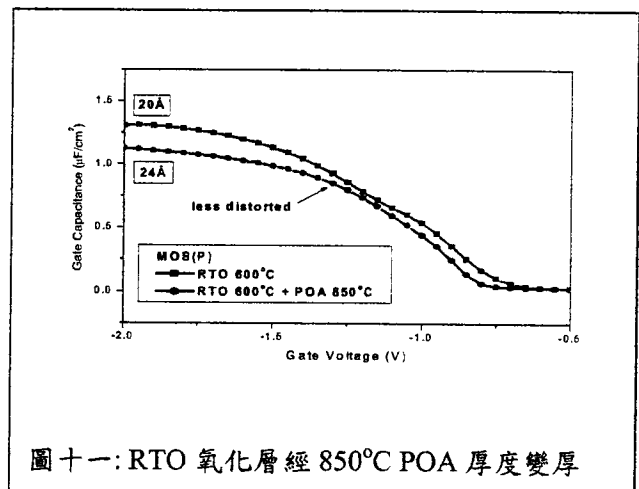
圖七：雙界面電荷橫向不均勻分布模型及其對C-V曲線之影響



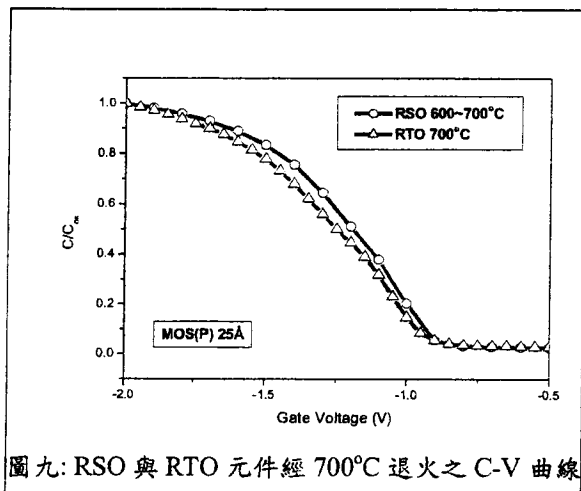
圖十：RSO與RTO元件經800°C退火之C-V曲線



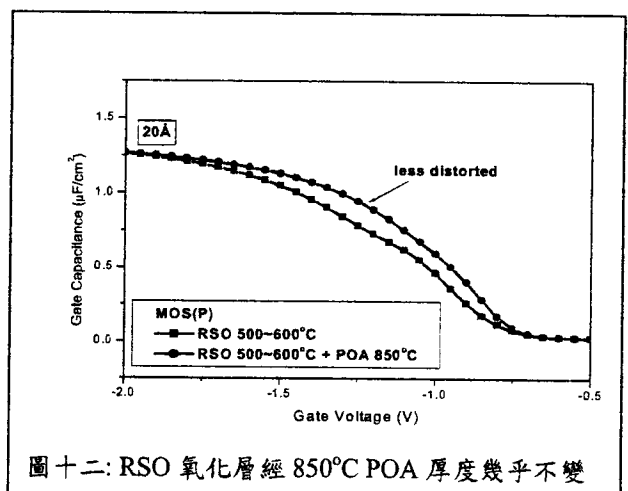
圖八：重覆脈衝RSO氧化生長元件經不同溫度退火之C-V曲線



圖十一：RTO氧化層經850°C POA厚度變厚



圖九：RSO與RTO元件經700°C退火之C-V曲線



圖十二：RSO氧化層經850°C POA厚度幾乎不變