

Retention Characteristic of SONOS Memory Cell

SONOS記憶體之資料儲存時間特性

專題學生：李柏義、葉秉澄

組別：A20 指導教授：黃智方 教授

Introduction

快閃記憶體(Flash Memory)是現今常見用來儲存資料的元件，屬於浮動閘非揮發性記憶體，其中，SONOS是我們研究的其中一種快閃記憶體。它與一般快閃記憶體不同的是，使用氮化矽(Si3N4)作為儲存層，可以讓SONOS的操作電壓下降，並且有更多的操作次數，同時保留了非揮發性記憶體之優點—資料在斷電後仍可保存。

SONOS的結構由上至下為：控制閘極(Silicon Control Gate)-阻擋氧化層(Blocking Oxide)-儲存氮化層(Nitride)-穿隧氧化層(Tunneling Oxide)-矽基板(Silicon Substrate)。儲存資料至SONOS時，電子會從源極(Source)流向汲極(Drain)，因受到橫向電場加速，成為熱載子(Hot carrier)。熱載子會受到控制閘(Control Gate)的正電壓吸引，能量足夠時便能跨越穿隧氧化層之能障，儲存至氮化矽中。這些儲存電荷有機會穿隧(Tunneling)，使電荷流失並造成資料遺失。因此我們研究的主題就是SONOS之中重要的特性—資料儲存時間(Retention)。

Simulations and Results

我們的實驗操作主要在更改穿隧氧化層厚度、材料以及通道長度，並研究因此可能對SONOS資料儲存能力的影響。因此當我們在改變SONOS結構時，我們需要一組固定穿隧氧化層材料、厚度以及通道長度的對照組來判斷所做的更改是否增進資料儲存特性，為此我們建構一組基本模型。

我們使用TCAD模擬軟體，利用閘極電壓將電子充進氮化層後，再將所有的偏壓歸零，讓元件在室溫(300K)的情況下觀察放電情形十年。並透過以下兩種關係來判斷資料儲存之特性：

- (1) 氮化層中捕捉電荷濃度與時間之關係圖
- (2) 臨界電壓之變化量(ΔV_{th})與時間之關係圖

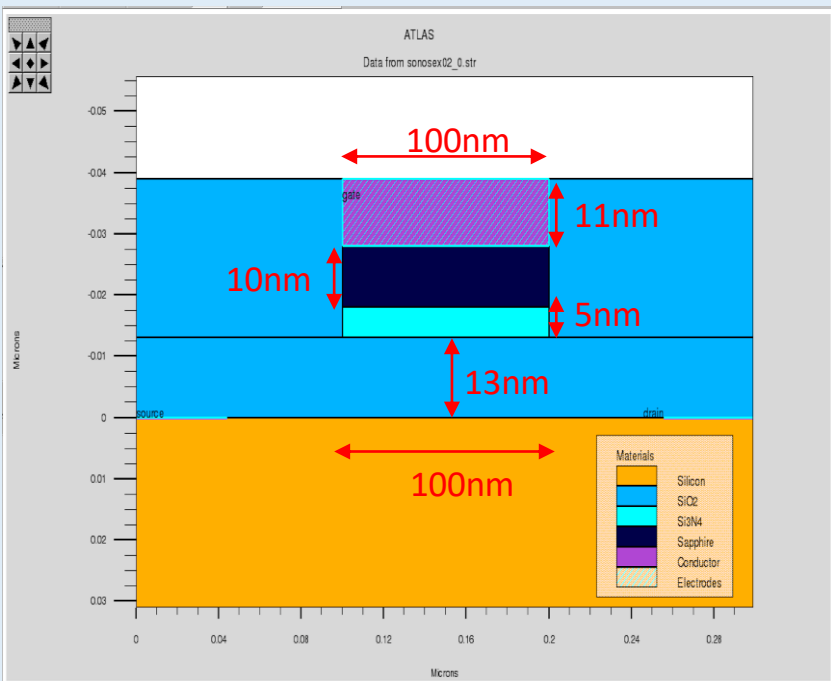
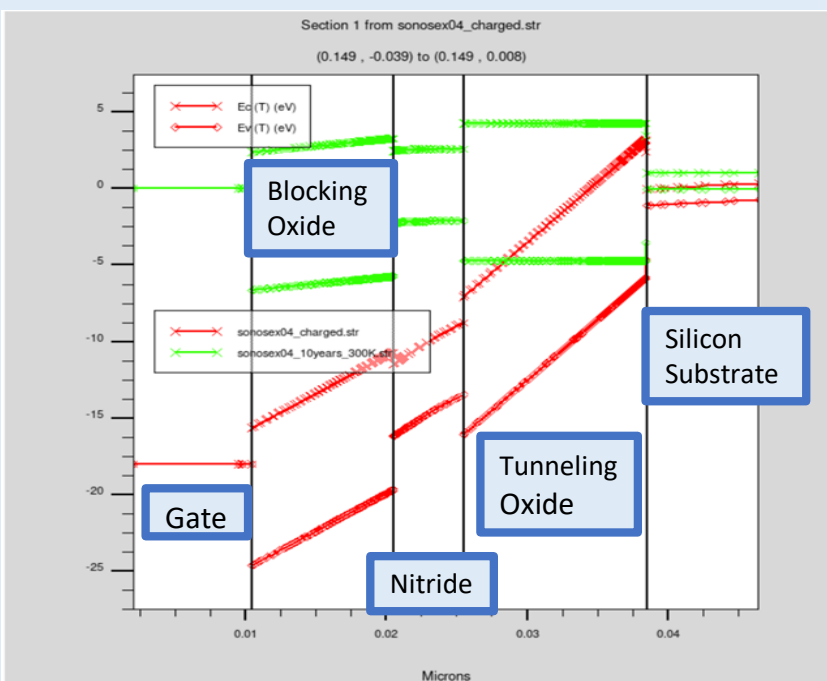


圖1.(a)基本模型結構



(b)基本模型能帶圖

一、改變穿隧氧化層之厚度

1. 穿隧氧化層為二氧化矽

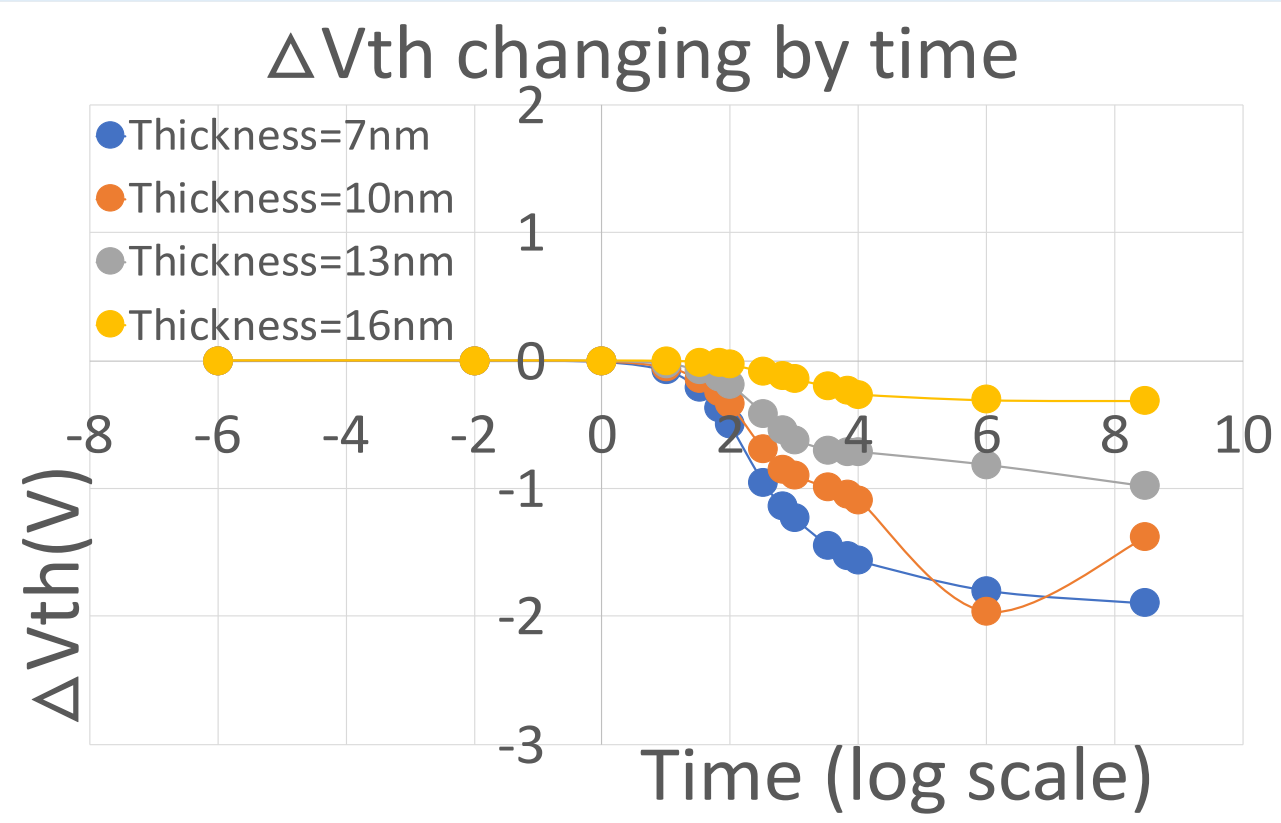
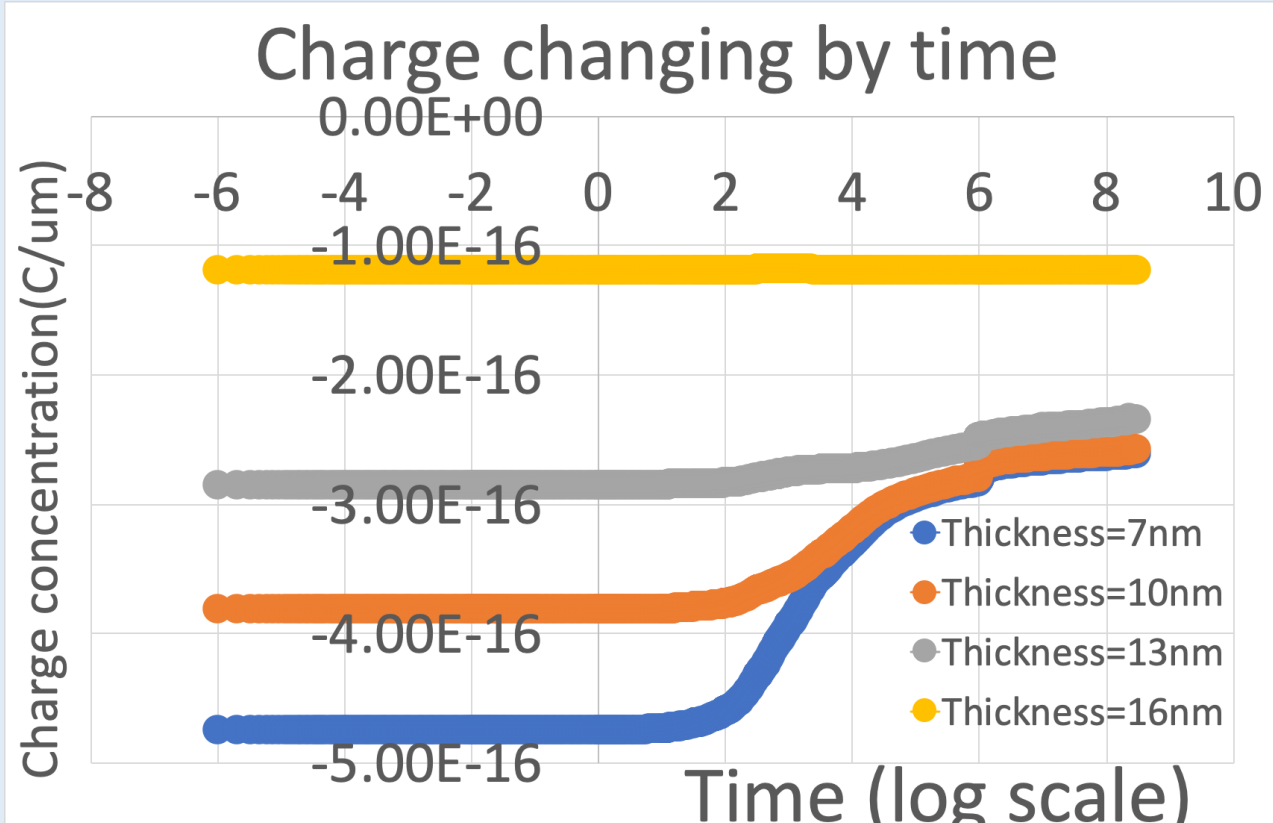


圖2. (a) 臨界電壓變化量與時間關係



(b) 儲存電荷濃度與時間關係

2. 穿隧氧化層為三氧化二鋁

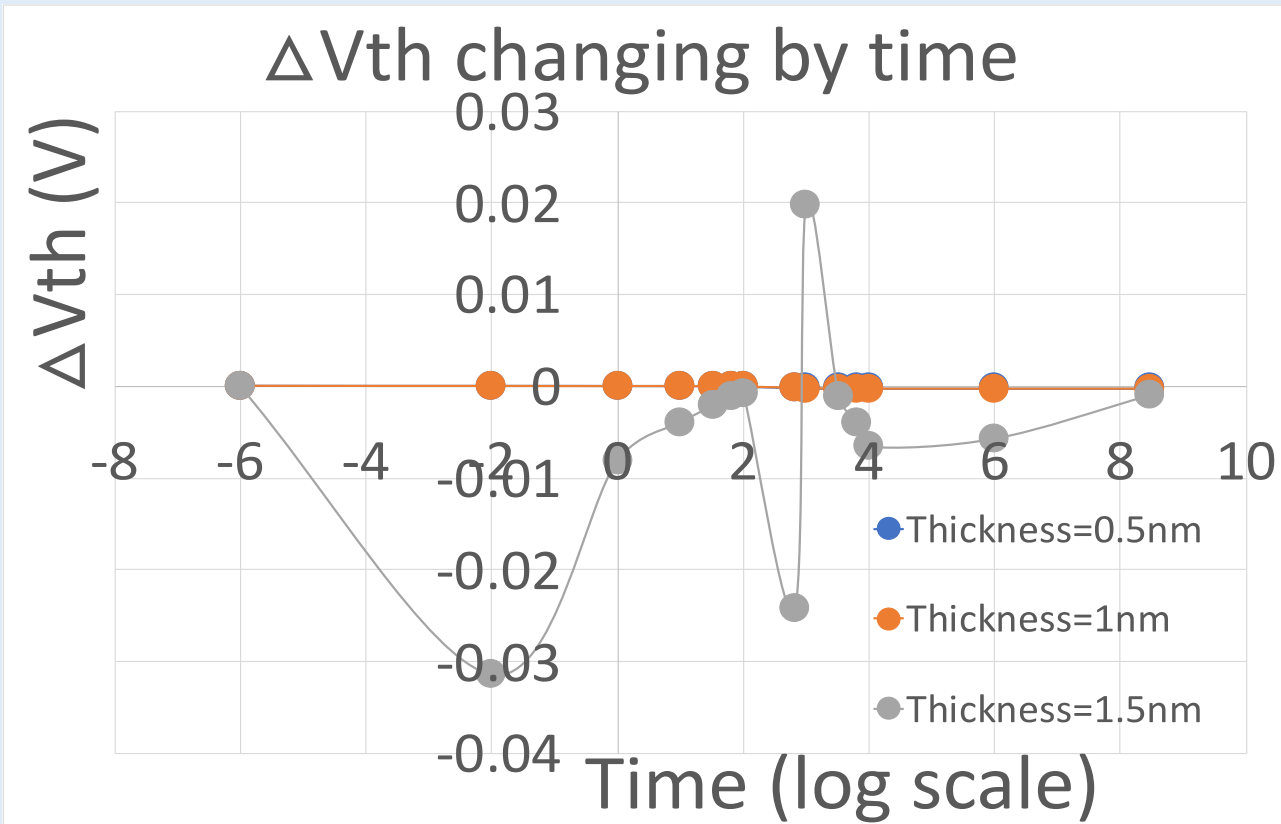
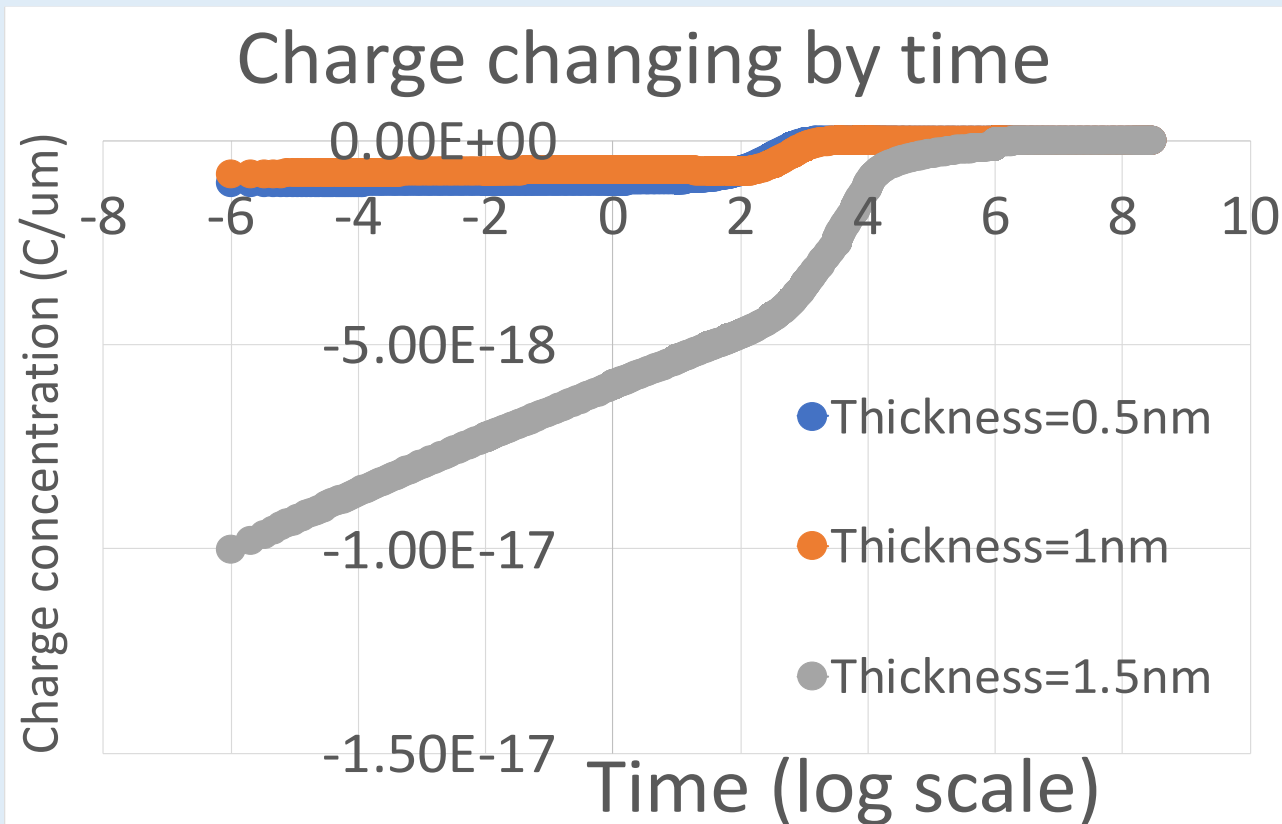


圖3. (a)臨界電壓變化量與時間關係



(b) 儲存電荷濃度與時間關係

二、改變通道長度

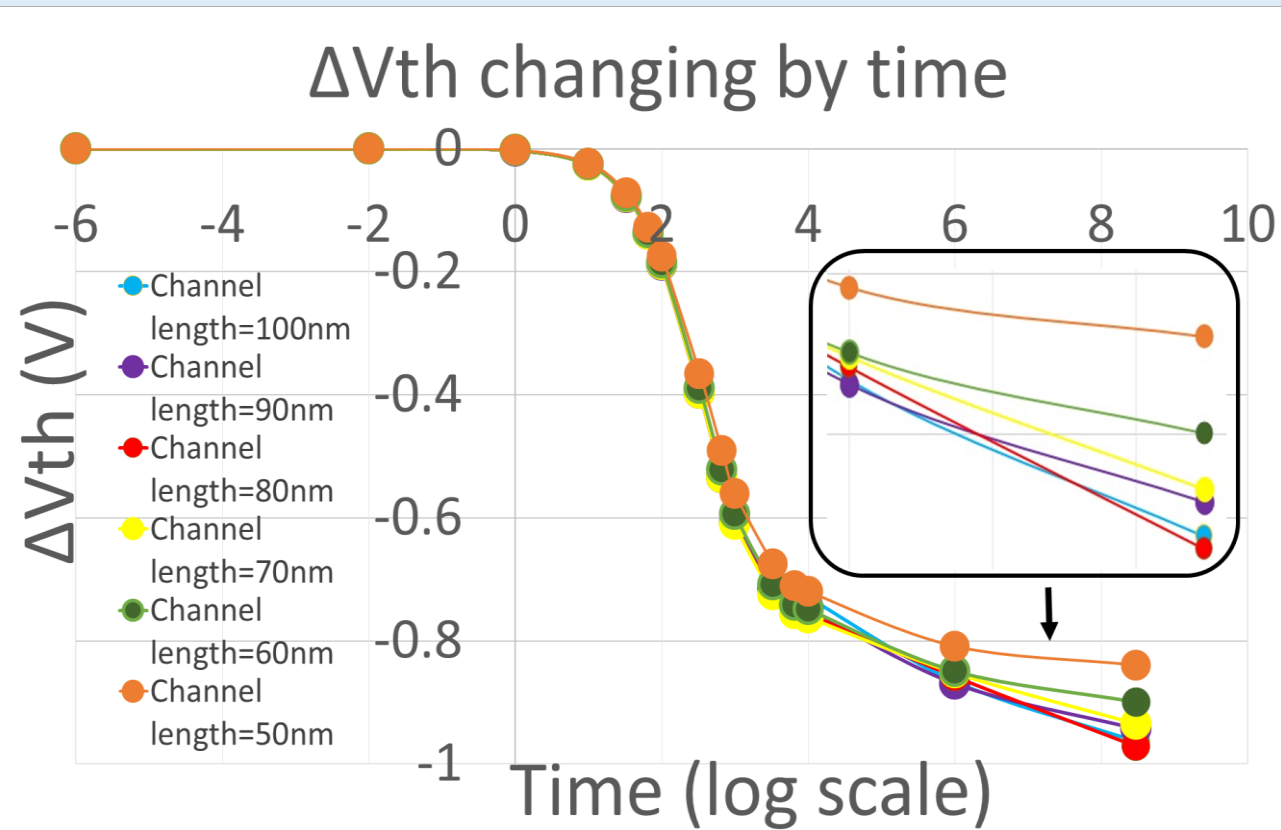
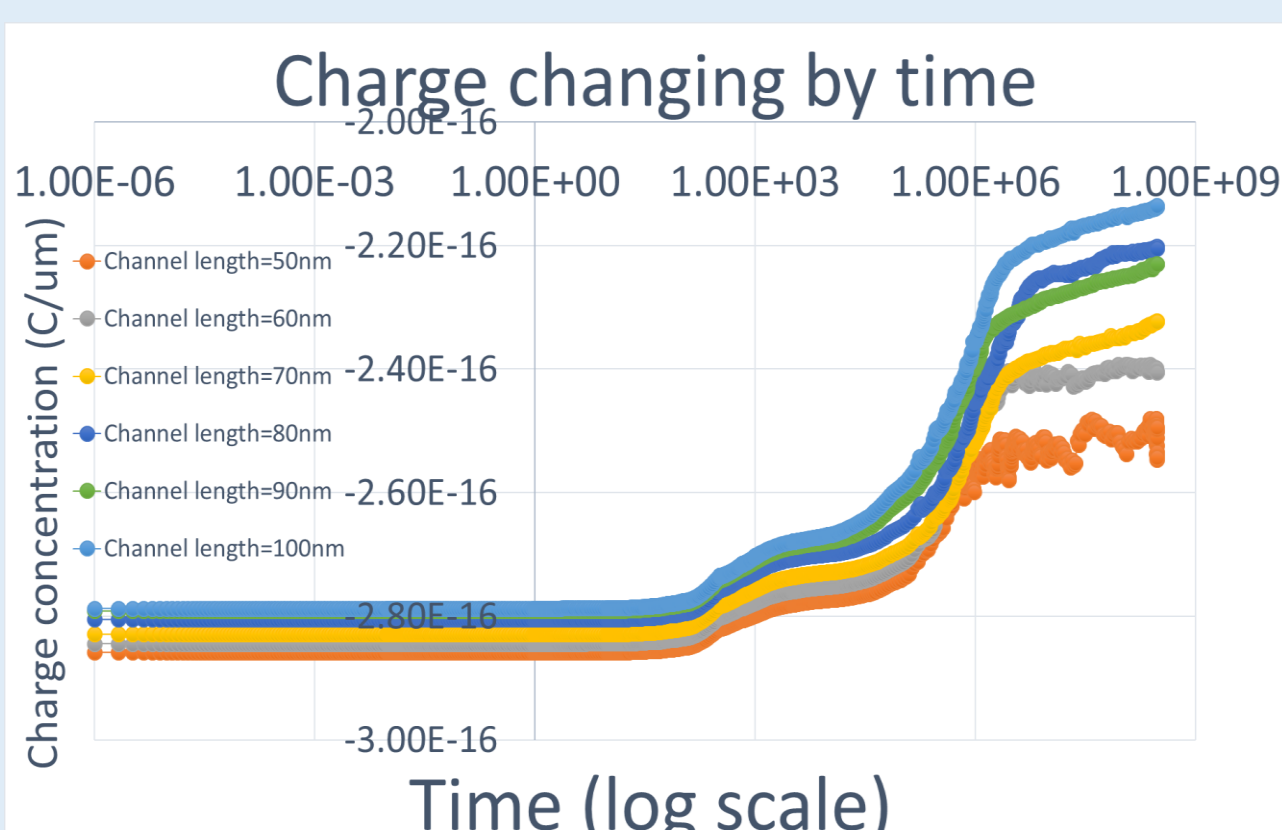


圖4.(a)臨界電壓變化量與時間關係



(b)儲存電荷濃度與時間關係

穿隧氧化層厚度愈薄，充電時內部電場愈低，使熱載子有較大動能並且能帶會產生越大的形變使F-N穿隧機率上升，導致電荷儲存進氮化儲存層的機會上升，因此元件初始電荷濃度會較高(圖2.(b))。

電荷流失越多時，臨界電壓變化量愈多。因此穿隧氧化層厚度愈厚，穿隧機率愈小，臨界電壓變化量愈小(圖2.(a))，放電十年後的濃度與初始值相差也愈小(圖2.(b))。

穿隧氧化層的材料為三氧化二鋁時，因為三氧化二鋁的介電常數較二氧化矽高，因此即使較薄一開始存進的電荷量還是較二氧化矽低。同樣是三氧化二鋁，在圖3.的兩圖中除了厚度為1.5奈米時的特例外可以看出越薄的穿隧氧化層初始電荷量較多，並且較厚的穿隧氧化層會有相對比較好的電荷保存特性。但整體而言，因為過薄的厚度使得儲存特性比二氧化矽差。

通道長度縮短會讓熱載子效應增強，使得一開始所充進去的電荷增加，增加氮化層中的電荷濃度。再者，穿隧氧化層之電場隨著通道長度變小而變小，因此穿隧機率將會下降，儲存電荷較難漏出，進而提升資料儲存之特性。由上述圖表可知，模擬十年後所剩餘之電荷濃度也較大(圖4.(b))。臨界電壓之變化量亦有減少的趨勢 (圖4.(a))。

Conclusion

就儲存電荷的保存率的角度而言，穿隧氧化層為二氧化矽、厚度為16奈米時，電荷儲存能力最佳，達到99.94%。穿隧氧化層為三氧化二鋁時，亦有類似的趨勢，但表現沒有二氧化矽佳。當通道長度為50奈米時，電荷儲存能力最佳，達到89.1%。

就臨界電壓變化量的角度而言，在臨界電壓相較基本模型的變化率越小代表該結構的電荷儲存特性越好。表現最佳的是厚度0.5奈米、材料為三氧化二鋁的-99.98%和通道寬度50奈米的-12.87%。因為受到初始電荷量的影響，這兩個最佳結果與前一個觀點所得的兩個最佳結果有所不同。

Reference

- [1] 王漢樽(民102)。U型多重讀寫氮化矽快閃式記憶體之耐久性及資料保存探討。國立交通大學電子工程學系電子研究所碩士班。碩士論文
- [2] A. Rani (2010). SIMULATION AND MODELING OF SONOS NON-VOLATILE MEMORY. Fairfax, VA: George Mason University. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of George Mason University In Partial fulfillment of The Requirements for the Degree of Master of Science Electrical Engineering.