

A Study of 3T Logic Compatible NVM Cell

3T 邏輯相容之非揮發記憶體的特性分析研究

組別:A87 指導教授:金雅琴 組員:107061206黃振祐、107061217蔡岳呈

Abstract

隨著科技的日新月異及物聯網和大數據的蓬勃發展，資料運算與儲存的需求量越來越大，嵌入式非揮發性記憶體的需求也隨之成長，因為資料儲存量變大，所以尺寸越小記憶能力越強的記憶體才能有足夠的競爭力，其中邏輯整合式非揮發性記憶體因為相容於一般的 CMOS 製程，相較於傳統記憶體需要額外光罩與製程，因此能有效的降低成本，並且能把記憶體與邏輯模組整合在單一片晶片上。

此專題的元件是由兩個浮動閘極與一個選擇電晶體串連而成，兩個浮動閘極覆蓋到 N 型井作為耦合元件，耦合率可透過浮動閘極覆蓋到 N 型井上的面積比來進行計算。由於耦合率高，所以寫入和清除的操作容易控制，此記憶體元件是透過熱載子注入的方式，把電子吸入到浮動閘極的方式來進行寫入的操作，再利用 F-N 穿隧的方式將電子從浮動閘極吸出來進行清除的操作，本次專題透過量測 28nm 邏輯製程下的整合式非揮發性記憶體來研究和分析此元件的結構和不同操作條件下的特性。

Introduction

本專題主要是在探討可多次編程非揮發性記憶體在符合 28NM 邏輯製程下的特性以及操作，透過量測的元件結構、耦合率、進行讀取、編程和清除來分析元件的特性及其背後的原理。

1. 元件結構

浮動閘極(Floating gate)元件，當中有一層 Floating gate 簡稱為 FG，此元件可以利用在 FG 內儲存電荷來達到記憶效果，當電子被注入 FG，元件的臨界電壓上升，這種狀態稱為被編程(programmed)，此時元件需要施加更高的電壓才會導通；而當 FG 內的電子被清除，元件的臨界電壓下降，這種狀態稱為被清除(erased)，此時元件僅需施加較低的電壓就能導通。

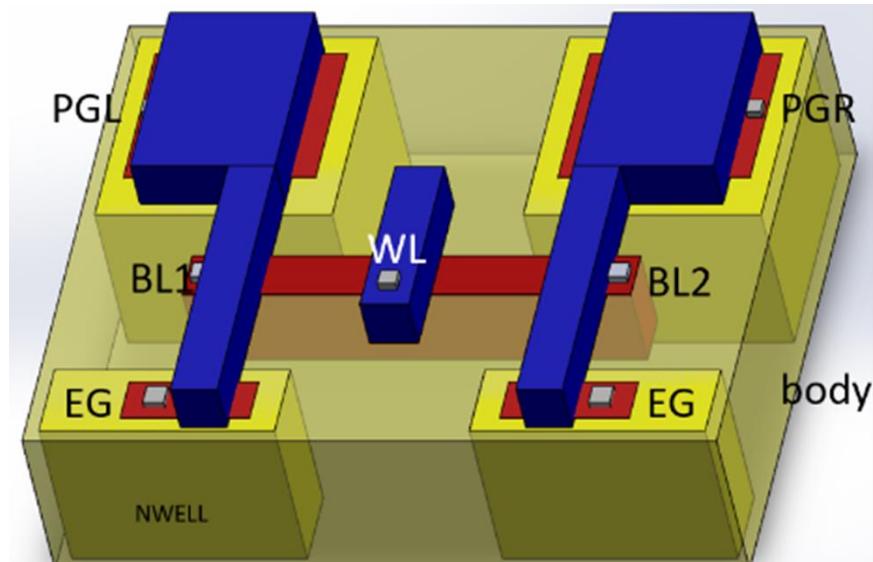
我們量測的元件是由兩個相同的浮動閘極電晶體中間串連一個選擇電晶體(Word line)而成，兩個浮動閘極分別稱為(PGR, PGL)，左邊浮動閘極電晶體的源極(Source)連為 BL1，而右邊浮動閘極電晶體的汲極(Drain)連為 BL2，此元件的特色是我們可以單獨編程或讀取任一個浮動閘極(PGR, PGL)，因此根據兩個浮動閘極內的電子量可以表示成四種狀態，清除閘極(Erase gate)則為共用，因此只要執行清除就可同時清除兩個浮動閘極內的電子。

元件設計時將浮動閘極延伸覆蓋到 N 型井(Nwell)上作成偶合元件，因此耦合率(Coupling ratio)可以透過浮動閘極覆蓋於 N 型井上的面積比來進行設計

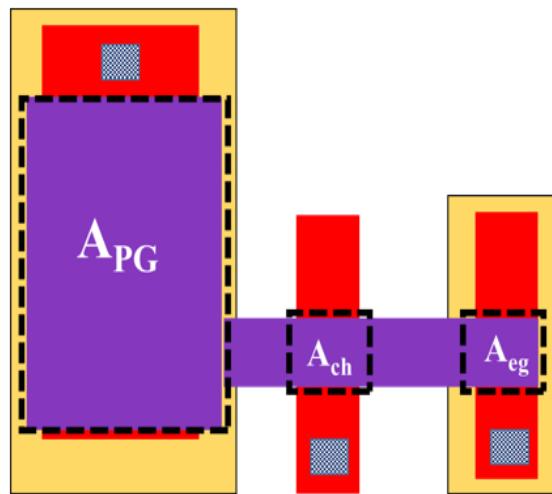
$$\alpha PG-TO-FG = APG/AEG + APG + ACh$$

$$\alpha EG-TO-FG = AEG/AEG + APG + ACh$$

$\alpha PG-TO-FG$ 是編程閘極的耦合率， $\alpha EG-TO-FG$ 是清除閘極的耦合率，而 AEG 、 APG 、 ACh 分別為編程閘極覆蓋於 N 型井上之面積、清除閘極覆蓋於 N 型井上之面積、讀取電晶體之面積。



此記憶胞之立體結構圖



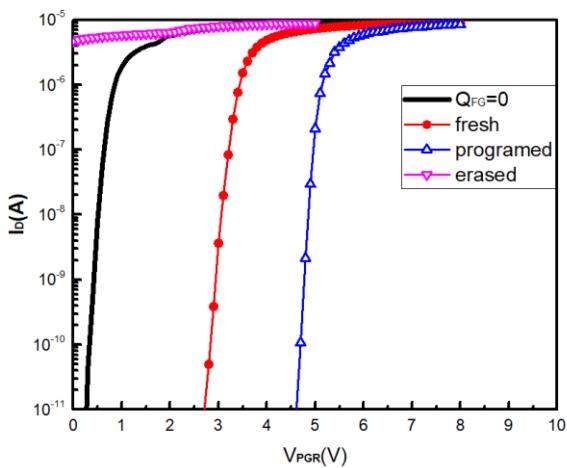
設計元件耦合率之主要面積上視圖

2. 操作理論與實驗結果

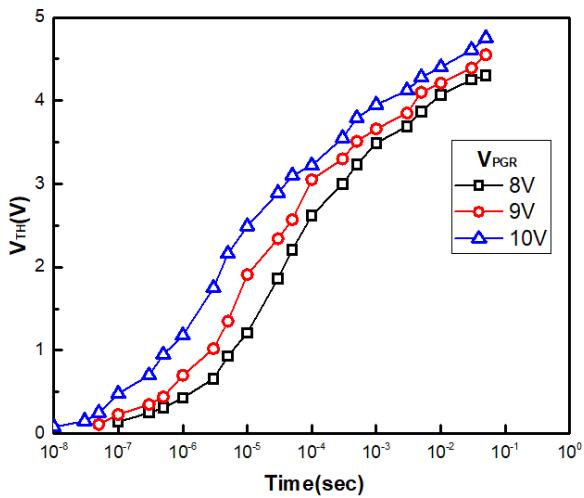
此元件的 BL 為共用，所以在讀取電流時可以透過選擇 WL、PG 來決定要讀取的電晶體。我們總共量測了四種狀態，一是浮動閘極內沒有電子的狀態，是由量測選擇電晶體並透過元件耦和率轉換而來；二是初始狀態，它代表的是我們在未對原件進行任何操作前所讀取到的狀態，可以看出它在理論值右側，因此可推斷浮動閘極裡一開始已有電子存在；三是在編程完成後的狀態，因為電子被吸引至浮動閘極中，所以臨限電壓會上升；四是進行清除操作後的狀態，由於浮動閘極內的電子會被清除，因此臨限電壓會下降。

編程方式是以通道熱載子注入，以編程右邊的浮動閘極為例，須在左邊的浮動閘極 WL 施加適當的電壓將通道打開，然後在汲極施加一高電壓以產生通道電流，並且在原先欲操作點施加高電壓即可完成熱載子注入編程，當操作在右邊浮動閘極的電壓越高，電子被吸入浮動閘極的速率也越快，因此操作速度也較快。

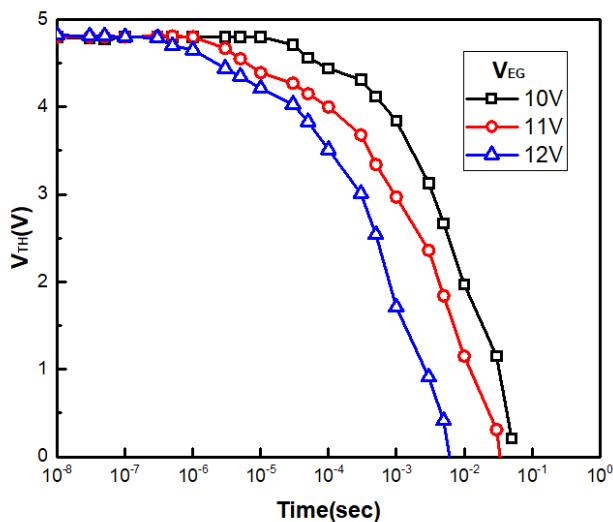
此元件的清除方式是透過 FN 穿隧來完成，這種清除的方式是利用延伸一小面積的浮動閘極到 N 型井上，耦合率相對於編程閘極來說極小，因此當施加高電壓時，浮動閘極內部會維持低電位，可以和清除閘極的高電位產生 FN 穿隧，使電子被吸出浮動閘極來完成清除的操作，另外由於元件的兩個浮動閘極的清除閘極是共用的，因此在進行清除操作時，不用選擇元件即可進行清除的動作，當操作電壓越高時，浮動閘極內電子被拉出來的速率就越快，臨限電壓值也降得越快。



元件在初始狀態、浮動閘極中無電子狀態、以及編程和清除操作後之浮動閘極讀取電流-電壓圖



使用不同的操作電壓進行通道熱載子注入的編程操作之量測結果



使用不同的操作電壓進行 FN 清除操作所得出的量測結果

心得感想

第一學期，專題開始之初，以閱讀有關浮動閘極相關論文為主，因為修過的課程幾乎沒有提過關於浮動閘極的概念，所以相當陌生。因此，我們先從了解一些專有名詞和理論的背景知識來學習，當中若有地方無法理解，再請教指導我們的學長，最後終於能完整向老師報告論文內容，報告過程中老師時常從我們報告的內容延伸提問，大部分的問題我們都給不出老師滿意的答案，老師都會詳細向我們講解，之後經過幾周不斷學習，才漸漸對浮動閘極的概念越來越熟悉，當中我們也閱讀了幾篇實驗室學長姐的論文，我們因此更了解浮動閘極是如何操作，也為我們之後的實驗建立一些基礎。

在學習操作機台的過程中，一開始很不熟練，因為很多調節輪或操作順序及技巧還是要有經驗才知道怎麼調整比較恰當，經過學長數次不厭其煩的指導後才逐漸能順利完成機台操作，但進行實驗時還是遇到的困難還是不少，因為不夠熟練的緣故，我們操作機台時有時會有一些閘沒有給到正確電壓，導致測量結果有些怪異，學長數次幫我們找原因並調整我們才漸漸能獨立進行實驗，在進行量測的過程中，因為實驗條件設計不良導致一開始編程對時間(Time to program)的量測結果不如預期，後來經過老師指正，我們更改了實驗步驟，才順利完成這次專題，當中雖然遇到許多難關，但在老師以及學長們的幫助下，最終都順利解決。

感謝老師及實驗室學長在我們實驗遇到困難時都能點出我們的問題並教導我們如何解決，透過這次的專題也讓我們對記憶題元件有更加深刻的認識，也學到了許多作研究和報告的方法，可說是獲益良多。