

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

自我對準鈷金屬矽化製程之熱穩定性及其對超薄閘極氧化層特性影響之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2215-E-009-105

執行期間：89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：黃調元博士

協同研究人員：林鴻志博士

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學電子工程學系

中華民國 90 年 10 月 31 日

自我對準鈷金屬矽化製程之熱穩定性及其對超薄閘極氧化層特性影響之研究

Thermal Stability of Co Salicide and its impact on the Characteristics of Ultra-thin Gate Oxides

計畫編號：NSC89-2215-E-009-105

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：黃調元 國立交通大學電子工程學系教授

一、中文摘要

本計劃是討論以鈦/鈷或氮化鈦/鈷等不同堆疊結構形成矽化鈷(CoSi_2)的材料特性。在鈦/鈷堆疊結構形成矽化鈷方面,不僅有較大的快速退火製程範圍,在熱穩定性方面也有不錯的改善;然而,由於鈦原子會和鈷原子形成合金,因而影響鈷原子擴散到矽表面形成矽化鈷的速度,使得在相同快速退火條件下,得到較薄的矽化鈷薄膜厚度。隨著氧化層厚度不斷的縮小,許多不同於以往的氧化層劣化現象陸續被發現,其中以軟性崩潰最為特別,因此本計劃特地探討超薄氧化層的崩潰特性。

關鍵詞：快速退火,鈦/鈷,氮化鈦/鈷,熱穩定性,軟性崩潰

Abstract

CoSi_2 is a promising alternative for replacing TiSi_2 in ULSI manufacturing. Co salicide process with Ti-capped Co layer was found to depict wider RTA process window, better thermal stability, and smaller reverse junction leakage, than the conventional Co salicide method. This is because Ti species can reduce native oxide between cobalt and silicon, and diffuse into the grain boundary of CoSi_2 , which could thus retard the occurrence of agglomeration. Attention was also paid on the post-breakdown I-V characteristics of ultra thin oxides. Conduction mechanisms of the soft-breakdown phenomenon, was characterized and discussed.

Keywords : narrow-width effects, Co salicide, nitridation, soft breakdown

二、緣由與目的

現今半導體工業日新月異,為了提高元件的工作品質,及達到高效率的工作速度,必須降低電阻及電容所造成的信號傳遞延遲,故在目前高速邏

輯電路生產線上一般採以自我對準金屬矽化(Self-Aligned Silicide, 簡稱 SALICIDE)製程以解決此一問題。

製作鈷金屬矽化最方便的方法是沉積單一層之鈷金屬膜沈積於 Si 上,再進行隨後的快速退火(RTA)以形成低阻值之鈷矽化物,然而鈷對外界環境的氧及水氣極為敏感,極易氧化,故須妥善的控制否則將影響製程的穩定與重複性。一般解決方法乃應用沈積堆疊金屬結構,鈦/鈷或氮化鈦/鈷(見圖一) [1-2]可以隔絕鈷膜與外界氧氣及水氣的接觸,避免環境對鈷金屬矽物形成造成不好的影響,而得到較大的製程溫度範圍,及較小的阻值。本計畫將探討不同堆疊材料 不同的退火溫度及不同的鈦膜厚度對 Co SALICIDE 阻值及熱穩定性的影響 [3]。

進入深次微米紀元後($< 0.35\mu\text{m}$)之後,二氧化矽的厚度將小於 10nm。雖然氧化層的厚度日益縮小,操作電壓也變小,但實際加在氧化層上的電場強度卻是愈來愈強,而且這個趨勢還會延續下去(見圖二),也因為元件所受的電場應力(electrical stress)愈來愈大,所以氧化層劣化情形也比以往的嚴重,其中有一些情況是在以往較厚氧化層中所沒有觀察到,像是 SILC(Stress Induced Leakage Current) [4]、SBD(soft breakdown, 又稱為 quasi, early, non-destructive, electric breakdown, 或是 B-mode SILC) [5-8]。除此之外,因為氧化層的厚度便薄而使得 Fowler-Nordheim 穿隧(F-N tunneling)與直接穿隧(direct tunneling)機率的增加,引起閘極電流得急遽增加。這些種種的現象其形成與發生的機制部分目前雖然還不是很清楚,但卻已成為元件可靠度的致命殺手。

三、結果與討論

1. 鈷金屬矽化

鈷金屬矽化製程如圖三所示。不同堆疊材料的鈷矽化物對一次 RTA 溫度與片電阻的關係如圖四。堆疊氮化鈦/鈷和單一鈷金屬層的片電阻值在

600 前幾乎維持一定值，溫度高於 650 時，片電阻值快速下降，這是由於高於此溫度範圍下，鈷金屬將完全轉換成低電阻的二矽化鈷。同時可以注意到，堆疊鈦/鈷的片電阻在溫度高於 700 才有明顯的下降，比氮化鈦/鈷和鈷的結構高了 50%，這是因為鈦金屬與鈷金屬反應而提高二矽化鈷的形成溫度。

圖五是單一鈷金屬層片電阻對二次 RTA 溫度的關係。由圖中無法觀察到適當的 RTA 製程溫度範圍，這是因為鈷金屬對氧氣和水氣相當的敏感。在作 RTA 的過程中，氧氣可能與鈷金屬反應在鈷矽介面產生一薄的俱生氧化層，而抑制鈷與矽的反應，進而使得鈷矽化物不易形成。

圖六是氮化鈦/鈷堆疊結構的片電阻與二次 RTA 溫度的關係。當一次 RTA 溫度介於 500 ~700 以及二次 RTA 溫度 750 ~1000 之間，可得到較低的片電阻值。然而，若一次 RTA 溫度低於 500，卻會得到較高的片電阻值。在低溫的一次 RTA，矽化鈷穿刺的現象會發生，造成二矽化鈷與矽介面的不平坦。覆蓋氮化鈦層可防止鈷與氧氣和水氣反應，使得 RTA 製程溫度範圍更加寬廣。

圖七是鈦/鈷堆疊結構片電阻對二次 RTA 溫度的關係。由圖中可以看出不管是一次或二次 RTA 溫度均有很大的製程溫度範圍，這是因為鈦在 RTA 時可有效與週遭的水氣反應，大大降低鈷與水氣和氧氣的反應。

圖八是不同堆疊結構和鈦金屬厚度的片電阻對 RTA 溫度的關係。在堆疊氮化鈦的結構具有最低的片電阻值，這是因為氮化鈦在 RTA 的過程中，可有效的防止鈷金屬氧化，且不會與鈷金屬產生反應。但是當堆疊的鈦金屬越厚時，會消耗越多的鈷金屬以形成鈷鈦合金，反而使得片電阻越高。

不同堆疊結構的熱穩定狀態如圖九所示。不同結構的熱穩定狀態是由在不同退火溫度 30 分鐘所測得。當鈦金屬厚度越厚會消耗更多的鈷金屬，使得形成薄鈷矽化物而造成片電阻降低。然而當鈦膜減少至 50Å，鈦原子將不足以在鈷金屬矽化過程中提供足夠的熱穩定度[9]。

2. 超薄閘極氧化層

當閘極氧化層縮小至 50Å 以下，會有所謂“soft breakdown”或稱“quasi breakdown”在 SILC (stress induced leakage current) 與元件最後崩潰之間發生。矽基材與二氧化矽介面的各種缺陷產生，在二氧化矽中形成局部導電路徑，是元件發生崩潰的原因之一。

氧化層可靠性分析最常用的方法是固定電流測試法，在此測試法下，氧化層崩潰可簡單的藉由一大電壓落差得知。如圖十是 NMOSFET 在固定

電壓測試法中所得到的閘極電壓圖，由圖中可輕易觀察出硬性崩潰發生點。然而，將圖十局部放大如圖十一，可以發現在氧化層崩潰有兩段不同的區域；在圖中，小段不連續的區域極為發生軟性崩潰。

圖十二是元件在測試前、軟性崩潰以及硬性崩潰後的閘極電流對電壓圖。在軟性崩潰後，閘極電流會大於元件測試前，但卻小於硬性崩潰後；這是軟性崩潰之所以被稱之為軟性的原因。

圖十三為元件軟性崩潰後，不同電容面積的電流對電壓圖。對於大面積的元件而言，閘極電流維持穩定值且與面積無關，這說明了軟性崩潰是發生於局部區域。然而對於小面積元件，閘極電流不為穩定值且有減小的趨勢，此現象解釋了即使軟性崩潰是發生於局部，但在崩潰後依舊是與面積相關。小面積元件不同於大面積元件在於缺陷彼此相靠近，使得電子不容易經由此缺陷路徑穿透氧化層，因此形成不穩定及較小的閘及電流值。

四、結論

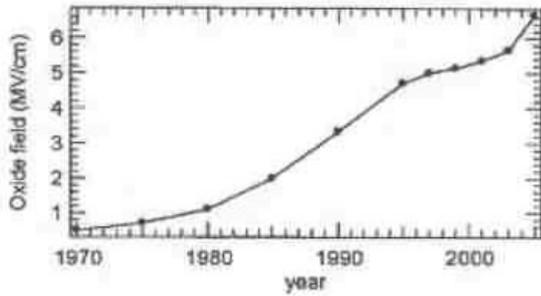
在此計畫中，我們研究各種堆疊結構製作鈷金屬矽化製程，同時我們發現氮化鈦與鈦覆蓋結構可有效防止氧氣與水氣和鈷金屬反應，因此可得較大的 RTA 製程溫度範圍，在鈦金屬堆疊的結構，鈦金屬會與鈷金屬反應產生鈷鈦合金，大大降低鈷矽化物的厚度。然而，鈦原子會擴散進入鈷金屬矽化的晶界，也會改進鈷金屬矽化的熱穩定性。從計畫中得知，鈦/鈷 (125/100 Å) 因為其具有足夠的鈷金屬矽化層，具有最佳的熱穩定性。軟性崩潰是當氧化層厚度小於 50Å 所發現的新現象，軟性崩潰是發生於局部區域且與閘極面積、厚度及極性無關。

五、參考文獻

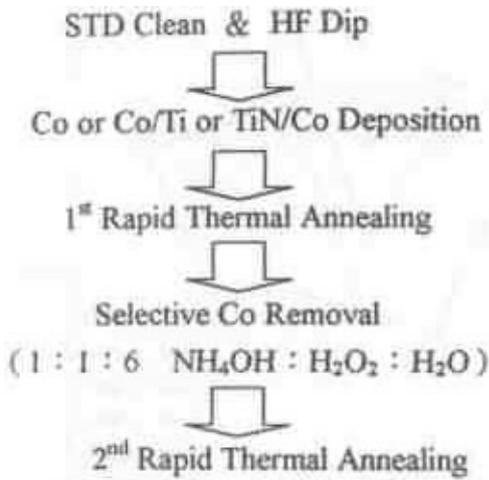
- [1] K. Maex et al., IEEE Trans. Elec. Dev., **46**, pp.1545-1550 (1999)
- [2] Gi Bum Kim et al., Journal of Appl. Phys., pp.1503-1507(1999)
- [3] T. Ohguro et L., VLSI Tech. 1997, pp.101
- [4] K. Naruke, et al., 1988 IEDM, pp. 424-427.
- [5] Lee SH, et al., 1994 IEDM, pp. 605.
- [6] Cheung KP, et. al., 1997 Symp VLSI Technol Dig, pp. 145
- [7] Pompl T, et. al., 1999 IRPS, pp.82.
- [8] Wu E, et. al., 1998 IEDM, pp. 187.
- [9] D. K. Sohn, et al., 1998 Appl. Phys. Lett., pp. 2302.



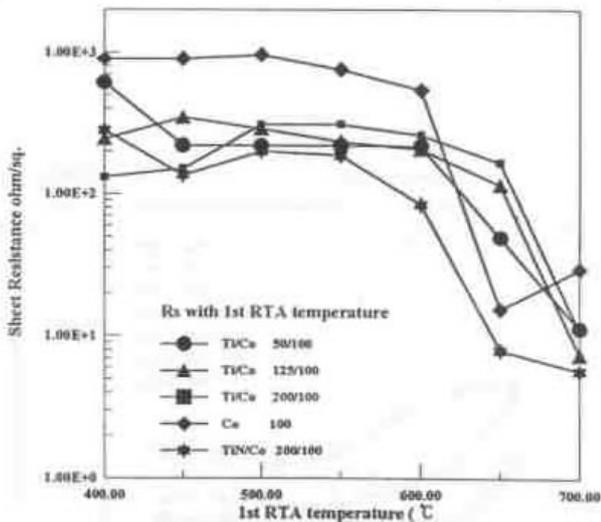
圖一 鈷矽化物的堆疊結構。



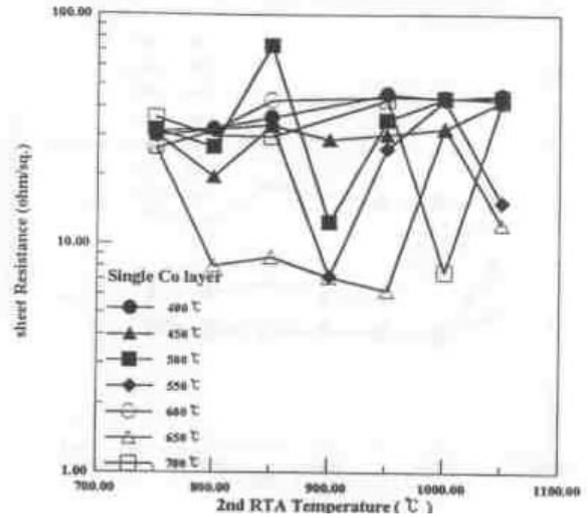
圖二 閘極氧化層跨壓與時間關係。



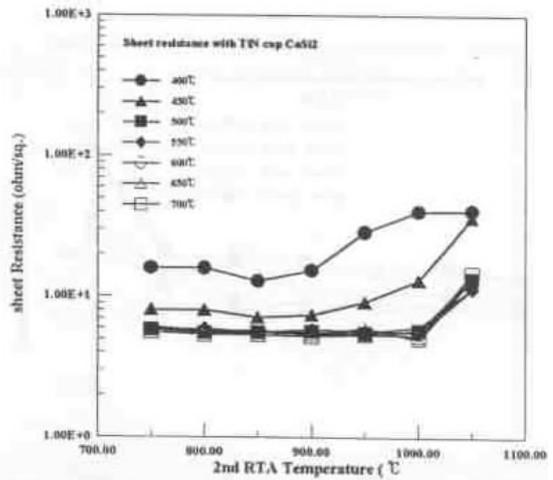
圖三 鈷矽化物的製程步驟。



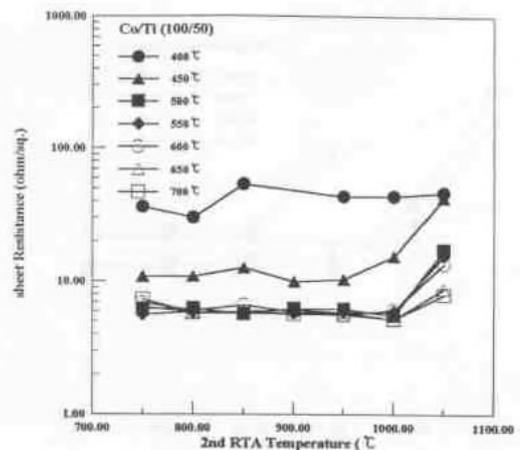
圖四 片電阻與一次 RTA 的關係。



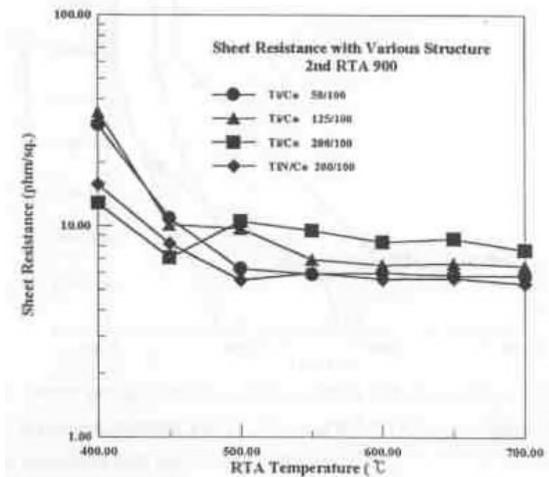
圖五 片電阻與二次 RTA 的關係 (單一鈷金屬層)。



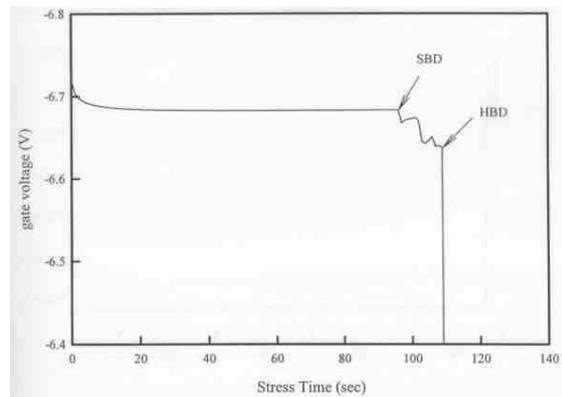
圖六 片電阻與二次 RTA 的關係 (氮化鈦/鈷堆疊結構)。



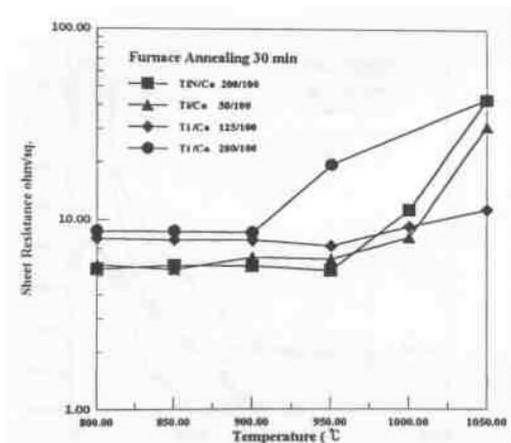
圖七 片電阻與二次 RTA 的關係 (鈦/鈷堆疊結構)。



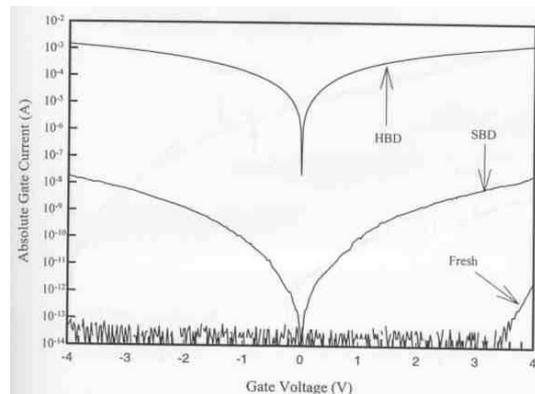
圖八 片電阻與一次 RTA 的關係 (氮化鈦/鈷、鈦/鈷與鈷在二次 RTA 900 之後)。



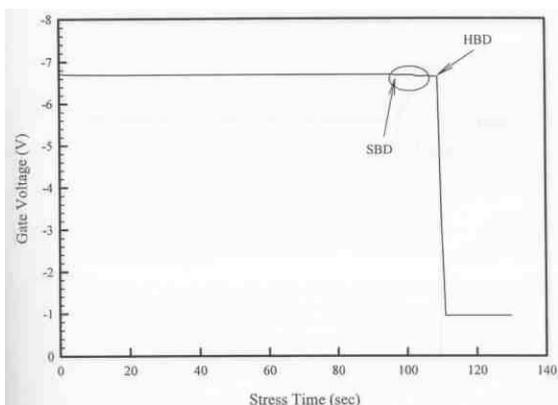
圖十一 圖十的局部放大圖。



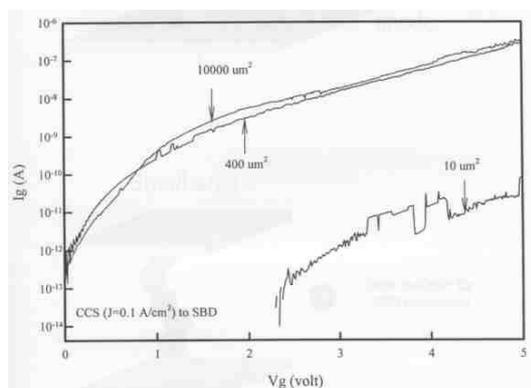
圖九 各種堆疊結構的片電阻與爐管退火溫度的關係(一次 RTA 550 , 30s 及二次 RTA 900 , 30s



圖十二 閘極電流對電壓圖。



圖十 固定電流測試(0.1A/cm²)元件崩潰圖。(NMOSFET 面積 10⁻⁴ cm² , 氧化層厚度 4.3nm。)



圖十三 各種面積大小的閘極電流對電壓圖(氧化層厚度 4.3nm)。