

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

精密超薄型薄膜製程之開發

計畫編號：NSC90--2218-E-009-023

執行期限：90年08月01日至91年07月31日

主持人：黃宇中 國立交通大學電子研究所教授

研究生：楊家銘、林稔杰

一. 中文摘要：(關鍵字：電化學蝕刻、 氫氧化鉀、薄膜、表面粗糙度)

本研究計畫對國內鮮少人深入,在微機電領域卻又勢在必行之電化學蝕刻停止製程進行探討研究,從已發展完成之非等向性蝕刻技術的基礎上,建構具有高精準度 製程便利及高重現性的電化學蝕刻停止製程技術,以期在微機電系統元件研發上,具備完成良好特性的元件之關鍵製程能力。

首先,我們建構一可進行三電極與四電極電化學蝕刻設備,並設計以多種附加方式改善蝕刻後表面粗糙度的蝕刻槽體 使用此設備進行電化學蝕刻特性之參數萃取,完成與 N⁺磊晶層厚度 20um 接近,其厚度為 21.96um 的薄膜,並討論各種方式對蝕刻後矽晶片表面粗糙度的影響。最後,研究對鋁、氧化矽與氮化矽對矽均有極高蝕刻選擇比之特殊 TMAH 溶液配方電化學蝕刻停止技術結合,以期在已完成 CMOS 電路製程的矽晶片上完成具有良好特性之微機電元件,整合為智慧型為機電系統晶片。

Abstract : (Keyword : Electrochemical etch stop , KOH , membrane , surface roughness)

This proposal presented the electrochemical etching stop process. Based on the well-developed anisotropic etching technology, we set up the electrochemical etch-stop technology equipment which is higher precision, less process step, higher reproducible. Therefore, we can realize the precisely controlled ultra thin membrane after accomplishing this research to have the key process of advanced devices with high performance.

We had set up the electrochemical etch-stop equipment that can work by three and four electrode electrochemical etch-stop methods and a etching tank with ultrasonic shaking, oxygen adding and circulating solution flow of etching solution to improve the surface roughness. And we extracted the electrochemical etching characteristics and fabricated the membranes with the thickness of 21.96um near the 20um epitaxy layer using this equipment. Then we discussed the results about improve the surface roughness. Finally, special composition of TMAH solution that has good selectivity of aluminum, silicon

oxide and silicon nitride between silicon combined with the electrochemical etch-stop technology. For the reason, we can fabricate the micromachining devices with good performances in the same silicon wafer after CMOS circuit process completed.

二. 計畫緣由與目的

我們進行此一研究計畫的最大動機為目前國內鮮少人對電化學蝕刻停止有完整的設備與詳細的研究,為了便於製做為機電系統元件,以及改進製程穩定度、元件操作特性、元件良率與可靠度等目標。

電化學蝕刻停止技術為在有 PN 接面的矽晶片上給予反相偏壓,則 P 型矽會被蝕刻,直到於 N 型矽層就會停止。最大優點是可採取與積體電路製程相容的製作步驟,只需要在完成前段製程後,加以後段電化學蝕刻停止,即可完成微機電系統,但是其缺點為需要以供給外加偏壓的晶片夾具,與電壓源。

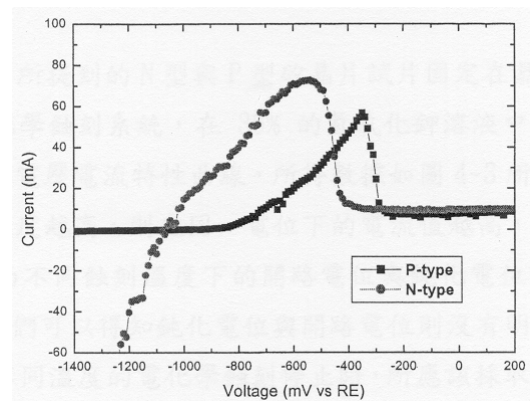
三. 研究成果

我們以自行建構的電化學蝕刻設備實際執行各種實驗研究。其成果分列如下：

3.1 電化學蝕刻特性之結果與討論

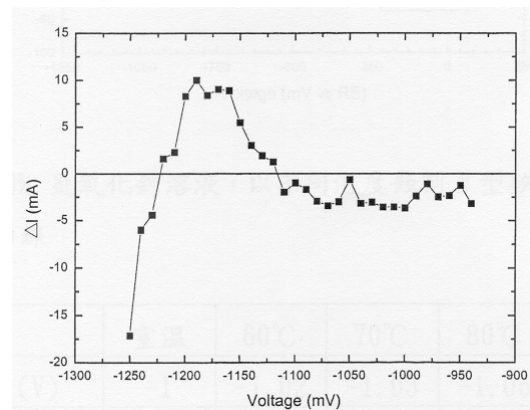
我們將 N 型與 P 型矽晶片固定在晶片夾具中,連接三電極電化學蝕刻系統,在 80 度的 30% 氫氧化鉀溶液中,以隨時變(10mV/s)的外加偏壓量測其蝕刻電流變化,所得之電壓電流特性曲線如下圖一。當我們施予比鈍化電位更正的偏壓時,蝕刻即會停止,故 P 型與 N 型鈍化電位之間的電位即為可以

用來電化學蝕刻的偏壓範圍。



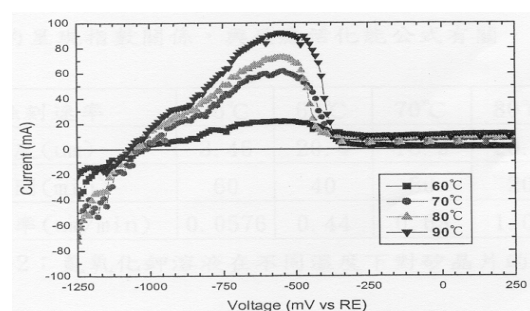
圖一

在量測電壓電流曲線時,照光將會產生光電流,下圖二為 N 型矽的光敏感度對電壓關係圖：



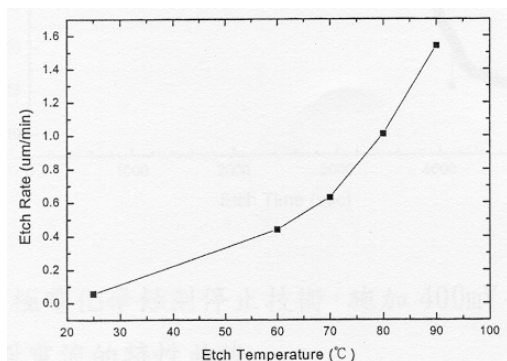
圖二

下圖三為在 30% KOH 溶液中,給予不同的蝕刻速率所量測出的電壓電流曲線,由圖上可以知道,當溫度越高則在同一電位下的電流值越高,蝕刻速率也跟著變快,此外由實驗中我們也得之,不同溫度對於鈍化電位與開路電位沒有明顯的變化,因此溫對於應該採取的蝕刻停止電位不會造成太大的影響



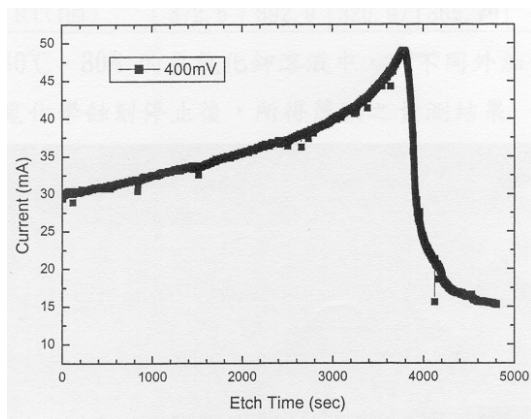
3.2 利用電化學蝕刻停止控制薄膜厚度之結果與討論

下圖四為 30% KOH 溶液在不同溫度底下對矽的蝕刻速率,可知溫度越高蝕刻速率越快,與反應活化能有關。



圖四

以電化學蝕刻停止製作薄膜前,每一試片均採用 90 度,30%的 KOH 溶液蝕刻 260 分鐘,蝕刻深度約為 400um 左右,將溶液溫度降至 80 度,再採取不同偏壓進行三電極電化學蝕刻停止,量測電流變化,固定 400mV 偏壓時,得到圖五之結果,



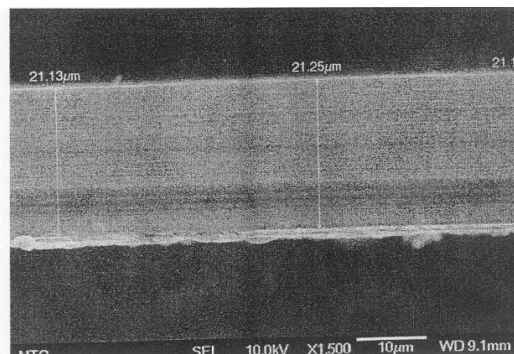
圖五

由圖五我們可以知道,當電化學蝕刻的過程中,因為矽晶片的厚度慢慢變薄,而外加偏壓固定,所以電流會慢慢變大,當時間電流特性曲線的斜率快速變化時,蝕刻也同時停止,實驗中可以發現不再有氫氣產生,再將晶片過度蝕刻十分鐘,取出試片,可得下表的蝕刻深

度與薄膜之粗糙度:

| 偏壓 | +2V | +0.5V | +0.4V | +0.2V | -0.2V |
|--------------|-------|-------|--------|--------|----------|
| 磊晶厚度 | 20 | 20 | 10 | 10 | 10 |
| 過度蝕刻時間 秒 | 840 | 30 秒 | 992 秒 | 672 秒 | Not stop |
| 薄膜厚度 (um) | 43.8 | 21.19 | 5.61 | 3.36 | Broken |
| Ra(nm) | 43.2 | 45.2 | 40.47 | 44.68 | ----- |
| Rq(nm) | 56.7 | 56.9 | 50.34 | 55.87 | ----- |
| Rt(nm) | 372.5 | 392.9 | 320.97 | 369.79 | ----- |

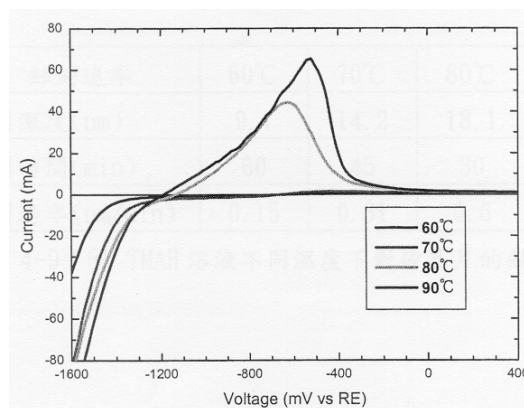
下圖六為 N+20um 時,施加 0.5V 偏壓進行電化學蝕刻停止後的 SEM 圖



圖六

3.3 TMAH 與積體電路製程整合之成果與討論

下圖七為 N 型矽在 5% TMAH 溶液下不同蝕刻溫度的電壓電流曲線:

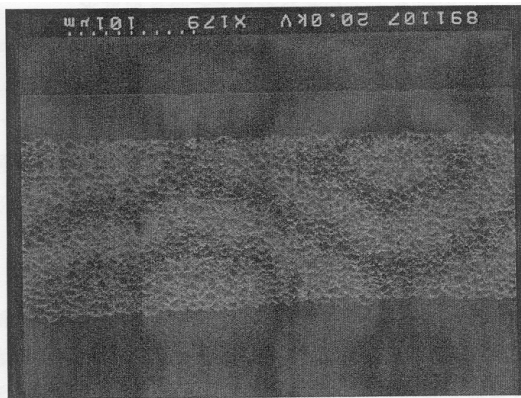


圖七

TMAH 溶液受溫度影響的蝕刻趨

勢與 KOH 相似，都是溫度越高，蝕刻速率越快，面粗糙度越小，我們也可以發現 TMAH 蝕刻後的表面均勻度沒有 KOH 好，而且蝕刻溫度不可以低於 80 度，否則過低的時刻速率將造成較大的表面粗糙度，無法定義出良好的微機電結構。

圖八、圖九為矽晶片在 TMAH 溶液中蝕刻停止後的 SEM 圖：



圖八 圖九

雖然我們使用特殊 TMAH 溶液，其對鋁的蝕刻率極低，但其表面粗糙度不如預期，約 5~10um 左右，表面呈現灰白色，不如 KOH 蝕刻後有如一面明鏡。

四. 結論與展望

在執行計畫一年中，我們已經對於基本電化學蝕刻特性與三電極電化學蝕刻停止做了詳盡的研究，為了更精確控制薄膜的厚度至 um 級以下，表面粗糙度

在 nm 級並能與積體電路製程整合，製做出微系統晶片，我們未來將致力於下面三個方向：

1. 利用氫氧化鉀溶液，以電四極電化學蝕刻停止技術控制薄膜的厚度。
2. 以 TMAH 容易進行四電極進行化學蝕刻
3. 利用研發完成隻電化學蝕刻停止技術蝕刻出微機電元件，如壓力計、麥克風等，且採取後加工製程技術將電路與微感測器與致動器製作在同一晶片上，完成系統晶片。

五. 參考文獻

- [1]. Erno Hilbrand Klaassen, "Micromachined instrumentation systems," The Ph.D. dissertation of the department of electrical engineering of Stanford University, May 1996.
- [2]. Madou, "Fundamentals of Microfabrication," CRC Press LLC, 1997
- [3]. H. A. Waggener, "Electrochemically controlled thinning of silicon," Bell Syst. Tech. J., vol49, no.3, p473, 1970.
- [4]. C.M.A. Ashru, P. J. French, P.M. Sarro, P.M. M. C. Bressers, J.J. Kelly, "Electrochemical etch stop engineering for bulk micromachining," Mechatronics 8 (1998)
- [5]. J. W. Faust, E.D. Palik, "Study of the orientation dependent etching and initial anodization of Si in aqueous KOH," J. Electrochem. Soc., vol. 130, no.6, p1413, 1983