

電子工学科 実験報告書

実験題目： MOS 構造の作製と特性評価
担当教員： 西 敬生 教授
実験開始日： 令和 5 年 6 月 15 日
実験終了日： 令和 5 年 6 月 22 日
提出日： 令和 5 年 6 月 27 日
再提出日：

学年： 5 年
出席番号： 12
実験班： B 班
氏名： 河合 将暉

共同実験者名：

コメント欄

1 目的

トランジスタ製作の基本技術の習得と MOS トランジスタの基本特性である MOS 容量の電圧依存性、周波数特性および酸化膜厚の参加時間依存性について学ぶ。

2 解説

2.1 MOS 構造

MOS とは Metal(金属)Oxied(酸化膜)Semiconductor(半導体) の頭文字の略称である。半導体 Si の表面を酸化させ、絶縁体酸化膜 SiO_2 が形成される。この上に金属電極を積むことで図??の MOS 構造が形成される。

2.2 作製過程

1) ウェーハ洗浄

Si ウェーハの表面は一度パッケージから出してしまえば、たとえクリーンルーム内といえども、多かれ少なかれ汚染される。本校クリーンルームはクラス 10000 (1 立方フィート内に $0.5\mu\text{m}$ の粒子が 1 万粒) とされ、専門家ではない学生が扱うことを考えれば、ウェーハを扱う企業の現場 (クラス 1~100) より非常に汚染されやすい環境にある。具体的にウェーハ表面を汚染するものや除去したいものとしては

- (a) パーティクル
- (b) アルカリ金属、重金属
- (c) 有機物
- (d) Si 自然酸化膜

以上が挙げられる。ここでのパーティクルとは、材質などは問わずに、粒形が数百 nm 以上のものの総称である。

これらをウェーハ表面に物理的・科学的にダメージを与えることなく、除去する洗浄方法が必要とされており、RCA 法など、多くの方法が提案されている。

2) 酸化膜形成

Si の酸化膜はウェーハを、酸素を満たした $900\sim 1200^\circ$ の高温の炉中に入れ熱酸化によって形成されることが多い。満たす酸素の供給源としては、乾燥した純粋な酸素 O_2 を送り込むドライ酸化と、水蒸気または水素と酸素の混合気を送り込むウェット (水蒸気またはスチームなどともいう) 酸化がある。

酸化のメカニズムは、

- (a) 酸化種 (O_2 または H_2O) が表面で反応もしくは SiO_2 に吸着される。
- (b) 吸着された O_2 または H_2O が酸化膜 SiO_2 の中を拡散してシリコンの界面に達する。
- (c) シリコンとの界面でシリコンと反応して SiO_2 になる。

といった段階を経る。酸化速度は酸化膜 SiO_2 が薄い時には3の化学反応の速度で決まり、厚い時には2の拡散する速度によって決まる。前者の状況を反応律速、後者を供給律速という。全体の反応を式で表すと

$$T_{OX}^2 + AT_{OX} = B(t + \tau_0) \quad (1)$$

となり、ここで A,B は温度と酸化条件で決まる定数、 τ_0 は初期の酸化膜厚に対応する定数である。酸化時間 t が長くて、 T_{OX} が厚いときには

$$T_{OX}^2 \simeq (B/A)(t + \tau_0) \quad (2)$$

となる。これらの酸化定数を表1に示す。

表 1: シリコンのドライ酸化時の酸化定数

酸化温度 $T [^\circ\text{C}]$	A [μm]	B [$\mu\text{m}^2/\text{h}$]	τ_0 [h]
1200	0.040	0.045	0.027
1100	0.090	0.027	0.076
1000	0.165	0.0117	0.37
920	0.235	0.0049	1.40
800	0.370	0.0011	9.0

- 3) フォトリソグラフィ IC 製造において各種材料膜を所望の形状加工にするため、パターニングを施すことをフォトリソグラフィと呼ぶ。この工程は通常の写真技術の応用であり、以下の手順を踏む。

- (a) レジスト塗布 (感光剤塗布)：ウェーハ上にフォトレジストという感光性樹脂をコーティング
- (b) 露光：平面的パターンが書かれたマスクを通し、光を照射して、パターンをレジストに転写
- (c) レジスト部分除去：レジストの化学反応により変質した部分を除去することでマスクパターンと同じレジストパターンが形成される。
- (d) 加工：部分的なレジストの除去により、レジストの下層が一部分、表出。その表出部分をエッチングしたり、上から蒸着や塗布などを行ったりすることで、パターンと同じ構造を形成できる。

レジスト

レジストには光が当たった部分が残るネガ型と、光が当たった部分が解けて取れるポジ型があり、本実験ではポジ型の OFPR という商品名で、光が当たるとアルカリ溶液に可溶性となる。レジストの塗布にはスピナー (スピンコーター) と呼ばれる塗布機を用いる。これはウェーハにレジストを滴下後高速回転させることで一定の膜厚のレジストのコーティングを可能とする。

露光

マスク粗いなどと呼ばれる。マスク接触型の露光装置で行われる。光学ステージへのセットは自動で行われる。露光の高原には高圧水銀ランプから発せられる紫外線 (i 線、波長 $\lambda = 365\text{nm}$)

- 4) フォトリソグラフィ
IC 製造において各材料膜を所望の形状に加工するため、パターニングを施すことをフォトリソグラフィと呼ぶ。この工程は通常の写真技術の応用であり、以下の手順を踏む。

- (a) レジスト塗布 (感光剤塗布)
ウェーハ上にフォトレジストという感光性樹脂をコーティング

- (b) 露光
平均的パターンが描かれたマスクを通し、光を照射して、パターンをレジストに転写
- (c) レジスト部分除去
レジストの光化学反応により変質した部分を除去することで、マスクパターンと同じレジストパターンが形成される。
- (d) 加工
部分的なレジストの除去により、レジストの下層が一部分表出する。その表出部分をエッチングしたり、上から蒸着や塗布を行うことで、パターンと同じ構造を形成できる。

2.3 MOS 構造の電気的特性

3 実験方法

3.1 使用器具

3.2 実験方法

4 実験結果

5 考察

6 感想

参考文献

- [1] 「実験実習指導書」神戸高専電子工学科 pp,