

# 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  $\text{SiO}_2$  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  $\text{O}_2$  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 ( $\text{O}_2$  または  $\text{H}_2\text{O}$ ) が表面で反応もしくは  $\text{SiO}_2$  に吸着される。
- (b) 吸着された  $\text{O}_2$  または  $\text{H}_2\text{O}$  が酸化膜  $\text{SiO}_2$  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  $\text{SiO}_2$  になる。

といった段階を経る。酸化速度は酸化膜  $\text{SiO}_2$  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、 $\tau_0$  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 [°C] | A[ $\mu\text{m}$ ] | B[ $\mu\text{m}^2/\text{h}$ ] | $\tau_0[\text{h}]$ |
|-------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| 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

### 1) 電圧印加による 3 つの状態

MOS 構造は、図??のように印加電圧によって電氣的に 3 つの状態に変化する。図??はプラスの電圧  $V_1$  を印加した状態で、酸化膜を挟んで電極下の半導体の部分に電子が引き寄せられ、多数キャリアの正孔と引き寄せられた電子が再結合し、キャリアの存在しない空乏層と呼ばれる領域が生じる。これを空乏状態という。 $V_1$  より大きな電圧を印加するとより多く電子が引き寄せられ、酸化膜 - 半導体界面のごく薄い部分だけ P 形から N 形に“反転”する。これを図??のように反転層といい、反転状態と呼ぶ。このように MOS 構造では、半導体の伝導型を電圧によって変化させることができる。MOS トランジスタはこれを利用している。図??は蓄積状態と呼ばれ、 $V_3$  を印加すると正孔を引き寄せ、その部分の抵抗率が下げられる。

### 2) 電圧 - 容量特性

MOS 構造は金属で絶縁体をサンドイッチしていると考ええるとコンデンサの一種と見ることもできる。空乏層という絶縁層を生じさせ、印加電圧によって空乏層幅を変化させられるため、静電容量も変えることができる。図??は MOS 構造の  $C - V$  特性で周波数によって特性が図??のように変化する。

## 3 実験方法

### 3.1 使用器具

本実験での使用器具を表 2 に示す。

表 2: 使用器具

| No | 機器名      | 型番 | シリアル No | 備考 |
|----|----------|----|---------|----|
| 1  | 横型管状電気炉  |    |         |    |
| 2  | ドラフター    |    |         |    |
| 3  | スピンコーター  |    |         |    |
| 4  | ジェットオープン |    |         |    |
| 5  | 真空蒸着装置   |    |         |    |
| 6  | 超音波洗浄機   |    |         |    |
| 7  | ホットプレート  |    |         |    |
| 8  | マスクアライナ  |    |         |    |
| 9  | 顕微鏡      |    |         |    |
| 10 | LCR メータ  |    |         |    |
| 11 | 定電圧電源    |    |         |    |
| 12 | グローブボックス |    |         |    |
| 13 | シリコン基板   |    |         |    |

## 3.2 実験方法

MOS 構造の作成工程を図??に示す。図??で完成した MOS 構造の静電容量－電圧特性、周波数依存性を測定した。作成手順を以下に示す。

- 1) プライムウェーハ初期洗浄  
排気装置であるドラフターの中で表 3 の手順に従って洗浄作業を行った。

表 3: 初期洗浄方法

| 手順 | 洗浄方法                | 時間 [分] | 使用ビーカー                   |
|----|---------------------|--------|--------------------------|
| 1  | セミコクリーン 23 による超音波洗浄 | 5      | セミコクリーン                  |
| 2  | 純粋オーバーフロー           | 5      | セミコクリーン－H <sub>2</sub> O |
| 3  | 遠心乾燥                | 1      |                          |

- 2) 酸化膜形成  
酸化膜形成の条件を以下に示す。

- 電気炉の温度：1060°C
- レギュレータ圧力：酸素 3 L/min、窒素 3 L/min
- ガス流量：酸素 1 kg/cm<sup>2</sup>、窒素 1.2 kg/cm<sup>2</sup>

実際には電気炉を稼働させてから最初の 20 分は温度が安定せず、一時的に 1160°C まで上昇した。

次に、酸化膜形成の手順を以下に示す。

- (a) 窒素を流すスイッチ (1 - SV) が ON で、窒素フローメーターが 3 L/min であることを確認した。
- (b) ウェーハを石英製ホルダーにセットし、そのホルダーごと電気炉の入口の手前 (電気炉の外) に置く。
- (c)

- 3) Al 蒸着

- 4) フォトリソグラフィ

- 5) Al エッチング

- 6) レジスト除去

- 7) 表面レジスト塗布

- 8) 裏面酸化膜エッチング

- 9) レジスト除去

- 10) Al 蒸着

## 4 実験結果

## 5 考察

## 6 所感

## 参考文献

- [1] 「実験実習指導書」神戸高専電子工学科 pp,