変調アドミッタンス法を用いた MIS 界面の欠陥準位の評価

日本大学 小林 浩二 清水 耕作

1. はじめに

現在、TFT 用の半導体にはシリコン以外 にも酸化物や有機物といった様々な材料が 使われている。しかし、どの材料を使用し た場合でもTFT の性能・信頼性の評価を行 う上でMIS界面が重要であることは変わら ない。そのため、TFT の性能・信頼性の向 上にあたって、材料によらない MIS 界面 の評価技術の確立が求められている。

本研究では、変調アドミッタンス法を用 いて MIS 界面の欠陥準位の評価を行った。 材料は結晶シリコンと熱酸化とスパッタ製 膜の2種類のSiO2膜、Ta2O5膜を使用した。

2. 実験方法

評価に用いた試料の断面構造を Fig.1 に 示す。絶縁膜側の電極を Cr、半導体は結晶 シリコンとし、絶縁膜と半導体下部の電極 をそれぞれ変化させて評価を行った。今回 は絶縁膜に SiO₂ と Ta₂O₅、SiO₂ は熱酸化膜 とスパッタ膜の 2 種類、全部で 3 種類の膜 を使用した。半導体下部の電極は Cr、Al、 Cu の 3 種類を使用し、製作した。測定条件 として、試料に 0.5V のバイアスを加え、周 波数を 100kHz~1MHz までの範囲で、試 料周囲の温度を 30℃~100℃まで 10℃ごと に変化させ評価をした。

3. 変調アドミッタンス法

MOS 構造における半導体側のフェルミ レベルを変調させることにより発生するア ドミッタンスシグナルより、界面準位密度 の評価をおこなう方法である。



Fig.1 Sample structure

作製した試料に交流電圧を印加すると、 交流電圧の周波数により、半導体側のフェ ルミレベルが変調する。このとき、フェル ミレベルの変調速度により、界面準位より 励起・吸収されるキャリアの数は増加する。 しかし、周波数がある一定の値を超えてし まうと、界面準位内に存在するキャリアが 周波数に対して追従できなくなるため、そ れ以上の周波数を印加すると界面準位より 励起・吸収されるキャリアの数は減少する。

このときの、界面準位より励起・吸収されるキャリアの量は(1)式で表される。

$$Y_{ss} = j\omega \left(\frac{q^2}{kT}\right) \int \frac{D_{it}f_0(1-f_0)d\psi}{(1+j\omega f_0/c_n n_{so})} \cdots (1)$$

 D_{it} は界面準位密度、k はボルツマン定数、

 T は絶対温度、fo はキャリアの存在確率、cn

Defect Density of the MIS Interface Using the Abnormality Admittance Method Nihon Univ. Kohji Kobayashi Kousaku Shimizu は電子捕獲確率、nso はキャリア密度とする。

$$f_0(1 - f_0) = \frac{kT}{q} \frac{df_0}{d\varphi} \cdots (2)$$
$$\tau = \frac{1}{c_n n_{so}} \cdots (3)$$

(1)式に(2)式、(3)式を代入し計算すると、(1)式は次のように求めることができる。

$$Y_{ss} = \frac{qD_{it}}{2\tau} \ln(1 + \omega^2 \tau^2) + j\omega \frac{qD_{it}}{\tau} \tan^{-1}(\omega\tau)$$

...(4)

また、この時(4)式が共振状態だと、

$$Y_{ss} = G_p + j\omega C_p \cdots (5)$$

のうちのコンダクタンス Gpのみで表すこ とができる。

これより右辺を ω τ の関数とし、 G_p/ω と すると、アドミッタンスシグナルは

$$\frac{G_p}{\omega} = \frac{qD_{it}}{2\omega\tau} \ln\left(1 + \omega^2\tau^2\right) \cdots (6)$$

と表すことができる。ただし、 G_p はコンダ クタンス、qは電荷素量、τは時定数、 D_{it} は界面準位密度である。(6)式でアドミッタ ンスシグナル G_p/ω が最大値となる時、 ω τ =1.98 の値となる。よって、周波数に対す るアドミッタンスシグナル G_p/ω を求める ことにより、界面準位密度の算出を行うこ とができる。

次に、周波数に対するアドミッタンスシ グナル G_p/ω を求めることにより、界面準位 の深さを求める。アドミッタンスシグナル G_p/ω の最大値となった時の周波数より、電 子の熱放出速度を求めることができる電子 の熱放出速度は

$$e_n = A^* \frac{2}{q} T^2 \sigma_n \exp\left[\frac{\left(E_c - E_d\right)}{kT}\right] \cdots (7)$$

で表すことができる。この(5)式の両辺に ln をかけると

$$\ln\left(\frac{e_n}{T^2}\right) = \frac{\left(E_c - E_d\right)}{k}T + \ln\left(A^*\frac{2}{q}\sigma_n\right)\cdots(8)$$

となる。ただし、enは電子の熱放出速度、k はボルツマン定数、σnはキャリア捕獲断面 積、A*はリチャードソン定数、Tは温度、 Ec-Edは界面準位の深さである。(8)式より、 各温度ごとに電子の熱放出速度を求めれば、 アレニウスプロットの傾きより界面順位の 深さが求められる。

4. 実験結果

今回測定した結果を Fig.2、Fig3、Fig4 に示す。なお、今回は試料の電極は Cr、Cu、 Al を使用し、それぞれ Fig2 は熱酸化膜、 Fig3 はスパッタ膜、Fig4 は Ta₂O₅ 膜での 結果を示している。







界面準位の深さは熱酸化膜ではそれぞれ Cr が 59.66meV、Cu が 60.71meV、Al が 55.53meV となった。スパッタ膜では、Cr が 58.31meV、Cu が 58.71meV、Al が 57.86meV となった。Ta₂O₅膜では、Cr が 93.11meV、Cu が 99.80meV、Al が 97.57meV となった。 今回の測定では、半導体側の電極を変化 させて界面準位にどのような影響が生じる のかを検討した。今回の測定結果では、界 面準位の深さは電極ごとに平均的に比較し た場合、大きな差が生じなかったことから、 界面準位の深さは電極によって変化しない ことが確認できた。また、絶縁膜の精度が 良好な熱酸化膜での結果と精度が低いスパ ッタ膜での結果から、熱酸化膜での結果で はピーク値を示した際の周波数に大きな違 いがないことから、アドミッタンスシグナ ルには絶縁膜の成膜条件が関係している可 能性があると考えられる。

界面準位密度は、膜の種類にかかわらず、 温度に対して比例して増加することが確認 できた。これは、界面準位に存在するキャ リアが、熱によって励起・吸収しやすくな ったことが原因と考えられる。

今後は、成膜条件等での検討を行うとと もに、変調アドミッタンス法での評価の有 効性の確認を行う。

5. 参考文献

 S.M.Sze 「半導体デバイス 基礎理論 とプロセス技術 第2版」 産業図書
 谷口研二 「シリコン熱酸化膜とその 界面 -基礎物性から超 LI への応用まで-」
 REALIZE INC.

前田督快 「アモルファス酸化物半導体 InGaZnO4 のギャップ内準位評価」

4) 河東田隆 「半導体評価技術」 産業図書

5) 中村由崇 多結晶 Si 膜の粒界キャラク タリゼーション