

pn 接合 TEG による高精度熱処理温度同定

大学院自然科学研究科	教授	久保田 弘
工学部電気システム工学科	学部学生	濱口誠治
大学院自然科学研究科	前期課程	溝上隆之
大学院自然科学研究科	前期課程	塩津啓介

LSI の高集積化に伴い、配線ピッチの縮小や多層化の要求が高まっているが、配線の抵抗と配線間容量による RC 遅延が深刻な問題となってきている。そのため従来使用されてきた Al 配線より低抵抗であり、高エレクトロマイグレーション耐性も兼ね備えた Cu 配線が注目されている。しかし、Cu は Si デバイスにおける代表的な汚染物質であり、比較的低温で Si 基板や層間絶縁膜に拡散するため、配線間の短絡といった問題を引き起こしてしまう可能性がある。

また、不純物の拡散は熱処理の過程によって大きく進行するが、熱処理は半導体製造工程において基板の格子欠陥の回復や層間絶縁膜等のリフローなど、重要な役割を果たしているため、熱処理の温度管理は重要である。本研究室では、Cu/Barrier/Si 構造を適用した pn 接合による低コストで熱処理温度が同定できる TEG を考案し開発を続けてきた。

pn 接合の逆方向電流は再結合電流 I_{gen} と近似でき SRH モデルより式(1)で表わされる。再結合レートである R は以下の式(2)で与えられる。

$$I_{gen} = qAn_iRX \quad (1) \quad R = N_i\sigma v \frac{pn - n_i^2}{n + p + 2n_i \coth\left(\frac{E_t - E_i}{kt}\right)} \quad (2)$$

熱処理温度が高いと不純物拡散が大幅に進行することにより(2)式の不純物密度 N_i が増加する。また N_i の増加に比例して再結合レート R も増加するため再結合方向電流 I_{gen} も増加する。つまり、熱処理温度が高いほど逆方向電流も増加する。この I_{gen} の変化を利用し、熱処理後の pn 接合 TEG の逆方向電流値から熱処理温度の同定ができる。

また、熱処理時間を t とした物体の表面から x の距離における不純物の密度 C は以下の式で表すことができる。

$$C(x,t) = C_s \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (3) \quad D = D_0 \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (4)$$

C_s は物体表面の不純物密度、 D はその物質の拡散係数とする。(4)式は拡散係数 D を求める式で D_0 は定数、 E は活性化エネルギー、 k はボルツマン定数、 T は熱処理温度である。これらの式から、バリアメタル膜厚 10nm と 20nm における Cu の密度と熱処理温度の関係をシミュレーション結果を図 1 示す。

図 1 より、拡散が開始した頃は温度の変化に対する逆方向電流の変化が大きいことがわかる。また、バリアメタル膜厚を変化させることで拡散が開始する温度をコントロールすることが可能である。これを利用し、今回は 400~600°C 間で拡散が起こるようにバリアメタルの膜厚を設定し、逆方向電流の変化を大きくすることで温度同定の高精度化を目指した。TiN 膜厚の異なる TEG の実験結果を図 2 に示す。

実験結果より、バリアメタルの膜厚を適切なものとすることで各熱処理温度における逆方向電流値の差が大きくなっていることがわかる。つまり、熱処理温度同定の精度が向上したといえる。

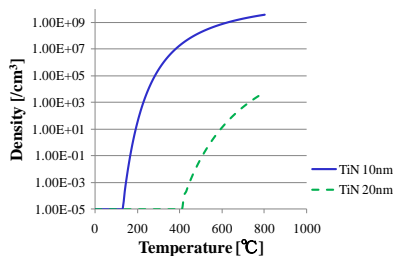


図 1. 各 TiN 膜厚における熱処理温度と Cu 拡散の関係

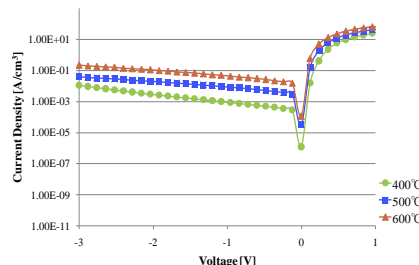


図 2a. I-V 特性(TiN10nm)

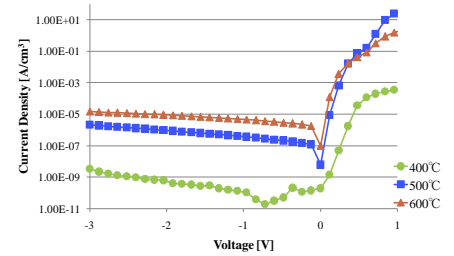


図 2b. I-V 特性(TiN20nm)