

シリコンウェーハ中炭素関連結晶欠陥のパワーデバイス特性への影響 Influence for Power Semiconductor Device Properties of Carbon Related Crystal Defect in Silicon Wafer

株式会社 SUMCO¹, 九州工業大学²

○佐々木 駿¹, 三次 伯知¹, 佐俣 秀一¹, 附田 正則², 大村 一郎²

SUMCO Corporation¹, Kyushu Institute of Technology²

°Shun Sasaki¹, Noritomo Mitsugi¹, Shuichi Samata¹, Masanori Tsukuda², Ichiro Omura²

E-mail: sysasaki@sumcosi.com

[背景]

シリコンウェーハ中の炭素不純物は半導体デバイスの製造工程での高エネルギー粒子線照射により、 C_iO_i 等の電氣的に活性な炭素関連結晶欠陥を形成し、パワーデバイス特性に影響を与えることが知られている。しかしながら、炭素関連結晶欠陥の熱処理挙動や、デバイス特性に寄与する欠陥種は明らかではない。そこで、パワーデバイス向けウェーハを用いて PiN ダイオードを製作した後粒子線照射と回復熱処理を行い、デバイス特性と欠陥評価により、ウェーハ中に発生する欠陥の熱処理挙動やデバイス特性に対する影響を調査した。

[実験]

パワーデバイス向け n 型 MCZ ウェーハ (炭素濃度約 5×10^{14} atoms/cm³) に PiN ダイオードを製作後、電子線照射と温度条件を変えた回復熱処理を行って結晶欠陥をデバイス活性領域 (PiN ダイオードの i 層) に発生させた。Open Circuit Voltage Decay (OCVD) 法で結晶欠陥の指標である、デバイス活性領域の再結合ライフタイム τ_{hl} 、および I-V 測定でデバイス特性であり、 τ_{hl} の影響を受ける順方向電圧 V_F (電流密度が $0.5A/cm^2$ の時の電圧値を V_F とした) を評価した。これらの結果を比較し、結晶欠陥とデバイス特性の熱処理挙動の整合性から、結晶欠陥が PiN ダイオードのデバイス特性に影響しているか確認した。次に、Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) 法で得られた電氣的に活性な欠陥である準位の評価結果から、準位を介した再結合ライフタイム τ_{SRH} を計算し、OCVD で得られた τ_{hl} に影響する欠陥種を推測した。以上の手法で、デバイス特性 V_F に影響する欠陥種を調査した。

[結果]

Fig.1 に電子線照射後および各温度条件での回復熱処理後の再結合ライフタイム τ_{hl} と順方向電圧 V_F を示す。200°C 熱処理までは τ_{hl} は減少し、 V_F は増加した。一方で 300°C 熱処理以降では τ_{hl} は増加し、 V_F は減少した。つまり、PiN ダイオードの τ_{hl} と V_F は逆相関になっている。これは理論的に正しく³⁾、PiN ダイオードの順方向電圧 V_F は再結合ライフタイム τ_{hl} を反映した結果になっている。したがって、結晶欠陥がデバイス特性に影響していることが確認できた。

次に、DLTS 評価結果から準位を介した再結合ライフタイム τ_{SRH} を計算した。計算には近似式 $\tau_{SRH} \approx 1/(\sigma_n v_{th} N_i + 1/\sigma_p v_{th} N_i^2)$ を用いた (N_i : 準位密度, σ_n および σ_p : 捕獲断面積, v_{th} : キャリアの熱速度, それぞれの物性値は DLTS 評価結果および文献値^{3), 4)}を用いた)。Table.1 に各回復熱処理条件で検出された準位の τ_{SRH} を示す。200°C 熱処理では C_iO_i , 400°C 熱処理では V_2O の τ_{SRH} が一番小さく、 τ_{hl} に強く影響することがわかる。 τ_{hl} は V_F に影響するので、回復熱処理条件によって順方向電圧 V_F , つまりデバイス特性に影響する欠陥種が違ふ事が分かった。

[参考文献]

1. G.Chung et al., Mater. Sci. Forum, 645-648, (2010), 905
2. D.K. Schroder et al., IEEE Trans. Electron Devices, 44, (1997), 160
3. I. Lazanu et al., Phys. Scr, 74, (2006), 201
4. M. M. Kras'ko et al., Ukr. J. Phys, 63, (2018), 1095

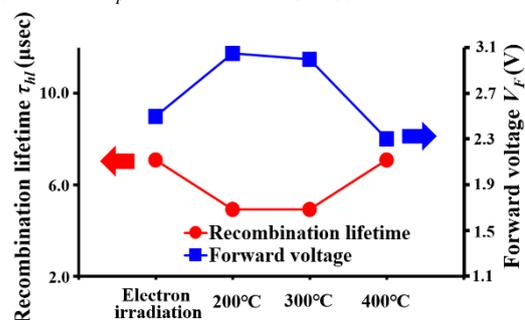


Fig.1 Evaluation results of recombination lifetime τ_{hl} and forward voltage V_F

Table.1 Calculation results of τ_{SRH}

Defect species	τ_{SRH} (μsec)		
	VV or PV	V_2O	C_iO_i
Annealing			
200°C 30min	145.8	-	0.9
400°C 30min	-	0.01	13.2