

4H-SiC MOS キャパシタ界面近傍における電子と正孔の 膜中トラップ密度分布の比較

Comparison between Electron and Hole Trap Density Distributions in Near-Interface Oxide of
4H-SiC MOS Capacitors

東京大学大学院工学系研究科材料工学専攻

○藤野雄貴, 喜多浩之

Dept. of Materials Engineering, School of Engineering, The Univ. of Tokyo

○Yuki Fujino and Koji Kita

E-mail: fujino@scio.t.u-tokyo.ac.jp

【背景と目的】 SiCの熱酸化で得られるMOSキャパシタにおいて、界面近傍の絶縁膜内部に形成された膜中準位の存在が指摘されている。我々は、キャリアがトンネル効果によって界面近傍の絶縁膜中に入り込み、膜中の準位に捕獲されると仮定するモデル^[1]に基づき、応答の時定数に分布を持った準位が引き起こす過渡応答に着目した膜中準位密度(D_{ox})解析手法を提案した。これを室温・低温において適用し、電子トラップについて伝導帯付近で空間的に浅い位置に存在する準位の存在を指摘した^[2]。しかし、正孔の膜中準位の分布と量については未だ明確になっていない。そこで今回は、正孔についても同測定を適用し、膜中欠陥に捕獲される電子と正孔の密度とその分布を比較した。

【測定試料と解析手法】 基板には電子トラップ測定用に n 型、正孔トラップ測定用に p 型の 4H-SiC (0001)面を用いた。1 atm-O₂ 中で 1300°C ドライ酸化を行い、熱酸化膜厚が~ 13 nm になるように MOS キャパシタを作製した。これに蓄積領域となる電圧 V_{trap} を 100 秒間印加し、膜中の準位にキャリアを捕獲させた後、即座にゲート電圧をストレス印加前の V_{FB} 付近に戻し、キャリアの放出に伴う容量値の過渡応答 ($C-t$) を観察した^[2]。この過渡応答に関わるのは、 V_{FB} から V_{trap} までに相当する表面ポテンシャル変化に対応したエネルギー範囲内に存在する準位に限られることに注意されたい。膜中トラップは界面からの空間的な距離に応じてトンネル確率が変化し時定数に広い分布を持つため、既に報告した通り $C-t$ 特性は時定数の分布を考慮した拡張デバイ減衰型のモデル^[3]で近似される。その結果から面積あたりの膜中トラップに起因する実効的な準位密度 D_{ox} を推定した。

【結果および考察】 p 型 MOS キャパシタに対し、200 K で得られた $C-t$ 特性を Fig. 1 に示す。既に報告した n 型キャパシタでの結果と同様に、拡張デバイ減衰型のモデルでよく再現され、本測定は正孔の膜中準位密度の定量的評価にも適用できると考えられる。Fig. 2 は各温度において p 型キャパシタのフィッティング結果から推定した価電子帯近傍のエネルギーにおける正孔トラップの D_{ox} と、n 型キャパシタから推定した伝導帯近傍の電子トラップの D_{ox} を比較したものである。まずエネルギー分布については電子、正孔ともにバンド端近傍でほぼフラットな分布が観測されている。また低温であるほど等しいエネルギーレベルでのトラップの時定数は大きく^[3,4]、空間的に浅い位置の準位を検出可能となることに着目すれば、検出された D_{ox} と時定数の温度依存性からトラップの空間的な分布について議論できる。電子トラップについては、界面から 3–5 Å 程度の空間的に浅い位置で高密度であるが 1 nm 程度の比較的深い位置では密度が低く、そのため低温では空間的に浅いトラップの応答が支配的になったと考えられる。これに対し、正孔トラップは空間的にフラットな分布をしていることが特徴であり、そのため温度によって空間的に位置の異なるトラップが検出される一方で、検出された D_{ox} の温度変化が小さくなったと考えられる。また、正孔トラップの D_{ox} の大きさは価電子帯近傍でほぼ $10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ のオーダーとなっており、これは電子における空間的に深い側の D_{ox} と同程度と推定された。

【謝辞】 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP 戦略的イノベーション創造プログラム「次世代パワーエレクトロニクス」(管理法人:NEDO) 及び JSPS 科研費補助金の助成により実施された。

Ref. [1] D. M. Fleetwood, *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **73**, 5058-5074 (1992). [2] 藤野ら, 2015 年春季応物学会 13p-B4-1 [3] A. K. Jonscher, *J. Phys. D*, **32**, R57-70 (1999). [4] A. J. Leelis, *et al.*, *IEEE TED* **62**, 316 (2015).

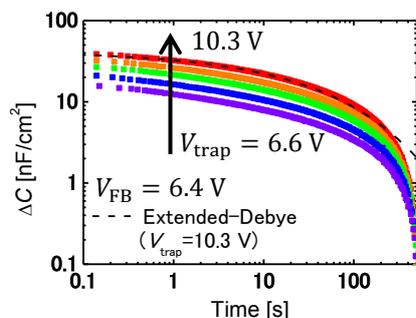


Fig. 1 $C-t$ characteristic of p-SiC MOS with various V_{trap} measured at 200 K.

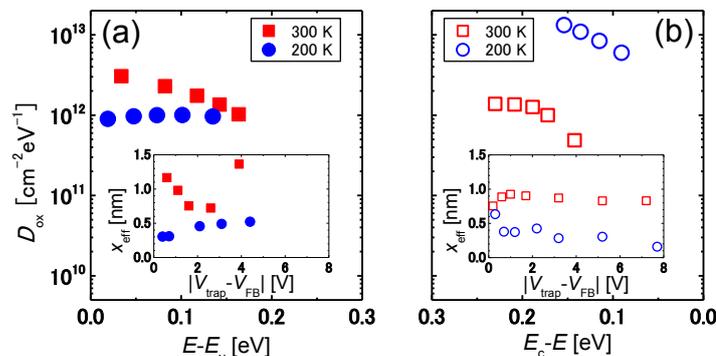


Fig. 2 Energy dependence of D_{ox} for (a) hole traps and (b) electron traps. Filled symbols represent the data for hole traps, and open ones for electrons. Insets show effective tunneling distance (x_{eff}) vs. stress bias.