

レート方程式を用いた SiC におけるキャリア寿命の理論解析

Theoretical Analysis of Carrier Lifetimes in SiC by using Rate Equations

京大工 °山下 昇真, I. D. Booker, 木本 恒暢

Kyoto Univ., °Shoma Yamashita, I. D. Booker, Tsunenobu Kimoto

E-mail: s-yamashita@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

はじめに SiC バイポーラデバイスにおいて、優れた伝導度変調効果やスイッチング特性を得るためには耐圧維持層のキャリア寿命制御が重要である。しかし、 $Z_{1/2}$ センター (炭素空孔[1]: n 型 4H-SiC のライフタイムキラー[2]) を介したキャリア再結合の物理的理解は進んでおらず、キャリア寿命の過剰キャリア密度依存性や温度依存性を与える理論モデルが欠落している。そこで本研究では、 $Z_{1/2}$ センターを介したキャリア再結合に関して、レート方程式を用いてキャリア寿命の理論解析を行うことで、これらの課題の解決を目指した。

計算条件および結果 $Z_{1/2}$ センターは negative-U の性質を持ち、 $Z_{1/2}$ センターの電子占有数として 0, 1, 2 の 3 状態を取り得る。このことを考慮して、過剰キャリア密度および $Z_{1/2}$ センターの電子トラップ率に関するレート方程式を立てた。その際、過剰電子・正孔注入密度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ とし、ドナー密度 $1 \times 10^{13} - 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、 $Z_{1/2}$ センター密度 $2 \times 10^{10} - 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、および温度 200 - 600 K の範囲で条件を変化させた。捕獲断面積は本研究において光励起 MCTS/DLTS により実験的に決定した値を用いた。

図 1 に高注入状態における過剰キャリア寿命の $Z_{1/2}$ センター密度依存性を示す。 $Z_{1/2}$ センター密度が約 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ より大きいとき、実験値[2,4]と良い一致を示した。なお、 $Z_{1/2}$ センターが $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 以下のとき、実験値は表面再結合の影響を受けているため、真のバルク寿命ではない。図 2 に正孔寿命の過剰正孔密度依存性を示す。過剰正孔密度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高注入状態においては、200 K から 400 K にかけてキャリア寿命が減少し、それ以上の温度では増加している。また、温度が 200 K から 400 K の範囲では、高注入状態から低注入状態に変化するにつれてキャリア寿命が減少したが、500 K から 600 K の範囲では低注入状態になるほどキャリア寿命が増加した。低温の場合は、 $Z_{1/2}$ センターの多くは電子占有数が 0 であるが、過剰キャリア密度が $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 付近では電子が正孔に比べて過剰になり、 $Z_{1/2}$ センターが電子をトラップし始めて正孔捕獲を促進するためである。また、高温においては室温に比べて $Z_{1/2}$ センターが電子を放出する速度が速くなるのに対し、正孔の捕獲速度はほぼ変化せず、 $Z_{1/2}$ センターの電子占有率が低下するためである。本研究は、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/SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」(管理人: NEDO)の助成を受けました。

[1] N.T. Son et al., Phys. Rev. Lett. **109**, 187603 (2012).

[2] K. Danno et al., Appl. Phys. Lett. **90**, 202109 (2007).

[3] I. D. Booker et al., ECSCRM2016, (Halkidiki, Greece)

[4] E. Saito et al., Appl. Phys. Express **9**, 061303 (2016).

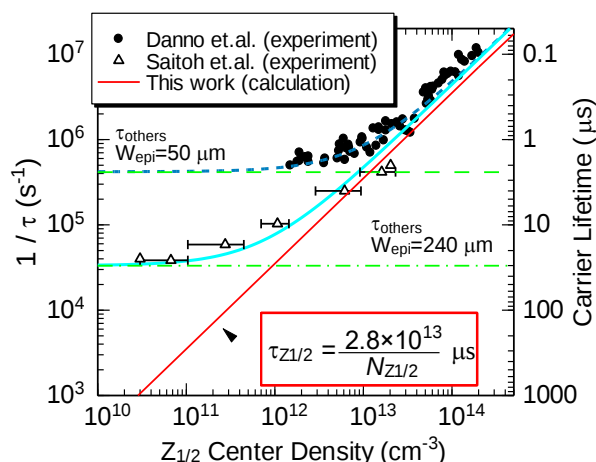


Fig. 1. Relationship between high-injection lifetime and $Z_{1/2}$ center density.

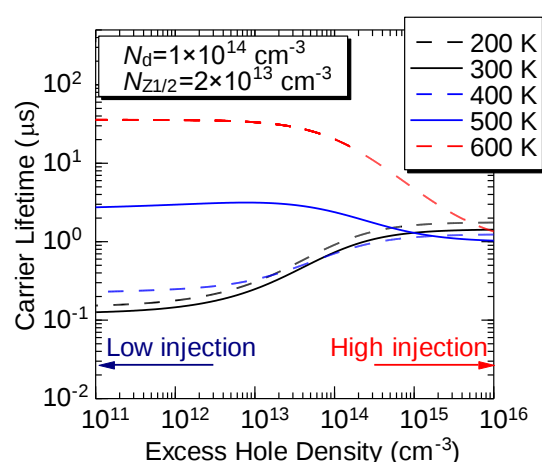


Fig. 2. Relationship between carrier lifetime and excess hole density in n-type SiC.