

# SiC におけるキャリア寿命のドナー密度依存性の理論解析 および実験値との比較

## Theoretical Analysis of Donor Density Dependence of Carrier Lifetimes in SiC and Comparison with Experiment

京大院工 °山下 昇真, 奥田貴史, 木本 恒暢

Kyoto Univ., °Shoma Yamashita, Takafumi Okuda, 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いない。著者らは、レート方程式を用いて計算したキャリア寿命の  $Z_{1/2}$  センター密度依存性が実験値とよい一致を示すことを報告してきた[3]。今回はその発展として、キャリア寿命のドナー密度依存性を計算し、実験値との比較を行った。

**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。これを考慮して、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。計算結果と実験値を比較するため、過剰電子・正孔注入密度を  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、 $Z_{1/2}$  センター密度は  $1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  に設定し、ドナー密度を  $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の範囲で変化させた。捕獲断面積は本研究室において光励起 MCTS/DLTS により実験的に決定した値を用いた[4]。

図 1 にドナー密度  $N_d = 1 \times 10^{14}$ 、 $1 \times 10^{15}$ 、および  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  における少数キャリア寿命  $\tau$  の過剰キャリア密度依存性を示す。過剰キャリア密度  $\Delta n$  が減少し、ドナー密度付近になると、電子が正孔に比べ過剰になり、 $Z_{1/2}$  センターが電子をトラップし始める。この結果、炭素空孔は負に帯電するため、正孔の捕獲が促進され、キャリア寿命は低下する。また、同時に、高注入状態  $\leftrightarrow$  低注入状態の遷移も生じるため、ドナー密度が増加するにつれて、 $\tau - \Delta n$  プロットは右側にシフトする。その結果、同過剰キャリア密度で比較した場合、赤点線とプロットの交点が示すように、ドナー密度が高いほど、キャリア寿命は低下する。

図 2 にキャリア寿命のドナー密度依存性を示す。実験に用いた SiC 試料は厚さ 50-100  $\mu\text{m}$  の n 型エピ成長層であり、 $Z_{1/2}$  センターは  $1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  である。測定時の励起過剰キャリア密度の平均値は  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  である。ドナー密度が  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} - 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の範囲では、キャリア寿命の過剰キャリア密度依存性の影響(Fig.1)を受け、比較的緩やかにキャリア寿命は減少する。ドナー密度が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上の範囲では、輻射再結合およびオージェ再結合の影響を大きく受け、キャリア寿命は急激に短くなる。黒点で示した実験値と、輻射再結合およびオージェ再結合も考慮した計算値(赤線)はよく一致し、本モデルでキャリア寿命のドナー密度依存性を説明することができる。

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」(管理法人: NEDO)の助成を受けました。

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

[3] S. Yamashita et al. 応用物理学会 2018 春, 19p-D103-12

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

[4] I. D. Booker et al., ECSCRM2016, Tu2a.01.

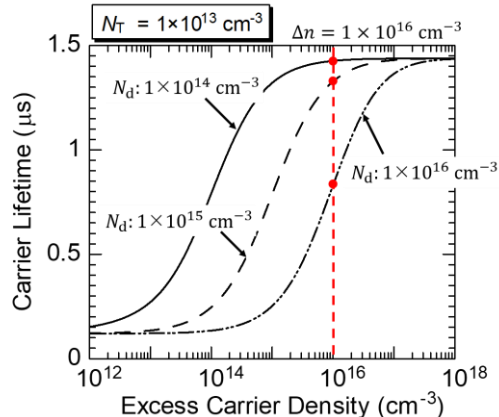


Fig. 1. Relationship between carrier lifetime and excess carrier density, where donor densities are  $1 \times 10^{14}$ ,  $1 \times 10^{15}$ , and  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

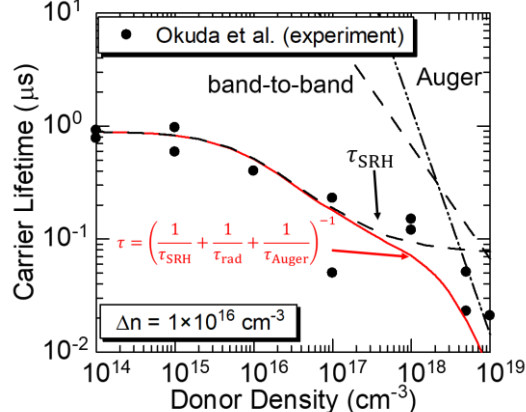


Fig. 2. Relationship between carrier lifetime and excess donor density.