

# p 型 SiC におけるキャリア寿命の理論解析

## Theoretical Analysis of Carrier Lifetimes in p-type SiC

京大院工 °山下 昇真, 木本 恒暢

Kyoto Univ., °Shoma Yamashita, 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の設計のためには、キャリア寿命の物理的理解が極めて重要である。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 (n 型 4H-SiC のライフタイムキラー[1]) 密度依存性およびドナ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[2]。しかし、p 型 SiC におけるキャリア寿命についての報告は数少なく、未だ物理的理解は進んでいない。そこで、本研究では、p 型 SiC のライフタイムキラーを  $Z_{1/2}$  センターと仮定してキャリア寿命の解析を行い、実験値と比較を行ったので報告する。

**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。アクセプタ密度を  $1 \times 10^{14} - 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の範囲で変化させ、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[3]。

図 1 にアクセプタ密度  $N_a = 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  に、炭素空孔密度  $N_{Vc} = 5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$  における  $Z_{1/2}$  センターの荷電状態、およびキャリア寿命の過剰キャリア密度依存性を示す。低注入状態では、正孔が電子よりも過剰になるため、すべての  $Z_{1/2}$  センターが電氣的に中性となる。また、正孔の捕獲断面積が電子の捕獲断面積の約 10 倍であるため、高注入状態においても  $Z_{1/2}$  センターの 9 割が中性のままとなる。このように低注入状態と高注入状態で  $Z_{1/2}$  センターの荷電状態は大きく変化しないため、キャリア寿命 ( $\sim 1.4 \mu\text{s}$ ) は過剰キャリア密度によって大きく変化しない。

図 2 にキャリア寿命のアクセプタ密度依存性を示す。実験に用いた SiC 試料は厚さ約 60 - 100  $\mu\text{m}$  の p 型エピ成長層であり、測定時の励起過剰キャリア密度の平均値は  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  である。低いアクセプタ密度で計算値と実験値が一致するように  $Z_{1/2}$  センター密度を設定した。n 型 SiC においては、高注入状態と比較して、低注入状態でのキャリア寿命が短いことを反映し、ドナー密度が過剰キャリア密度を上回るとキャリア寿命が減少する[2]。しかし、本研究のモデルにおいて、p 型 SiC のキャリア寿命は過剰キャリア密度依存性をほぼ持たないため、アクセプタ密度が  $1 \times 10^{15} - 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  の範囲でキャリア寿命の計算値はほぼ一定となり、実験値と一致しない。また、アクセプタである Al のイオン化率が低く、n 型と比べて直接再結合とオージェ再結合の影響が小さいので、アクセプタ密度が  $1 \times 10^{17} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の範囲のキャリア寿命の低下を説明できない。この結果は、p 型 SiC のライフタイムキラーが  $Z_{1/2}$  センターではなく、別の欠陥であることを示している。

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

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

[2] 山下 他, 応用物理学会 2018 秋, 21a-141-6.

[4] T. Kimoto et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **51**, 363001 (2018).

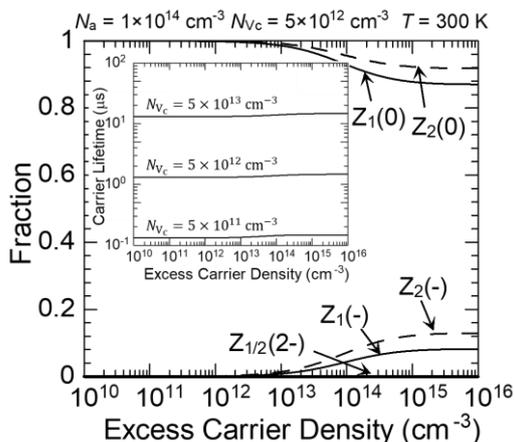


Fig. 1. Excess carrier density dependence of the fraction of the charge states of the  $Z_{1/2}$  center. The inset shows excess carrier density dependence of carrier lifetimes.

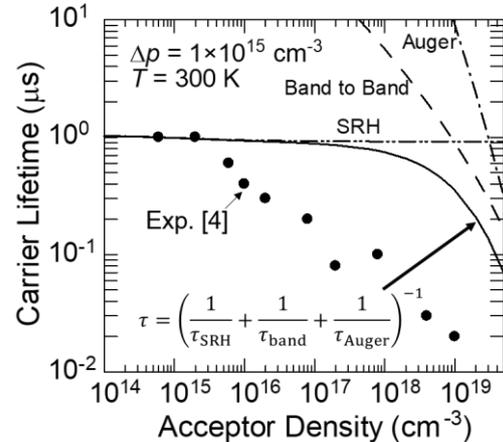


Fig. 2. Acceptor density dependence of carrier lifetimes. Lines and symbols show theoretical and experimental result, respectively.