

顕微 FCA 装置による 4H-SiC 深さ方向高空間分解能ライフタイム測定

~Lifetime measurement with high spatial resolution in the depth direction of 4H-SiC by microscopic FCA system~

○長屋圭祐¹, 平山貴史¹, 俵武志^{2,3}, 村田晃一⁴, 土田秀一⁴, 宮坂晶⁵, 児島一聡³, 加藤智久³, 奥村元³, 加藤正史¹

(1. 名工大院, 2. 富士電機, 3. 産総研, 4. 電中研, 5. 昭和電工)

研究背景

高耐圧SiCバイポーラデバイスにおいて、厚膜エピ層中のライフタイムは性能に影響する重要なパラメーター

- ・ **スイッチ損失低減**に向けて、ライフタイム制御は重要
 - N/V コドーブによる**短ライフタイム層**の埋め込み^[1]はスイッチング時の蓄積キャリアの低減に寄与^[2]
- ・ デバイス設計の最適化に向けて、ライフタイム(τ_{HL})及び拡散長(L_a)の**絶対値**の評価は重要

本研究では、高い空間分解能での評価が可能な**顕微 FCA^[3] 装置**を用いて、厚膜エピでのライフタイムの**分布**と**絶対値**の評価を試みた

顕微FCA装置

対物レンズ ($f = 4 \text{ mm}$, $\text{NA} = 0.65$) 355 nm LPF 405 or 635 nm BPF 受光器

励起光 ($h\nu > E_g$)
波長: 355 nm 【高注入】
光子数: $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-2}$
パルス幅: 1 ns

レーザー 結合レンズ ($f = 150 \text{ mm}$)

アパーチャーの開口径
① 精密測定: 1 mm
② 拡大測定: 5 mm

プローブ光 ($h\nu < E_g$)
スポット径: $\sim 1 \mu\text{m}$

開口径により**スポット径**を調整

キャリア拡散によるトレードオフ
① 分解能向上 / ② 絶対値解析

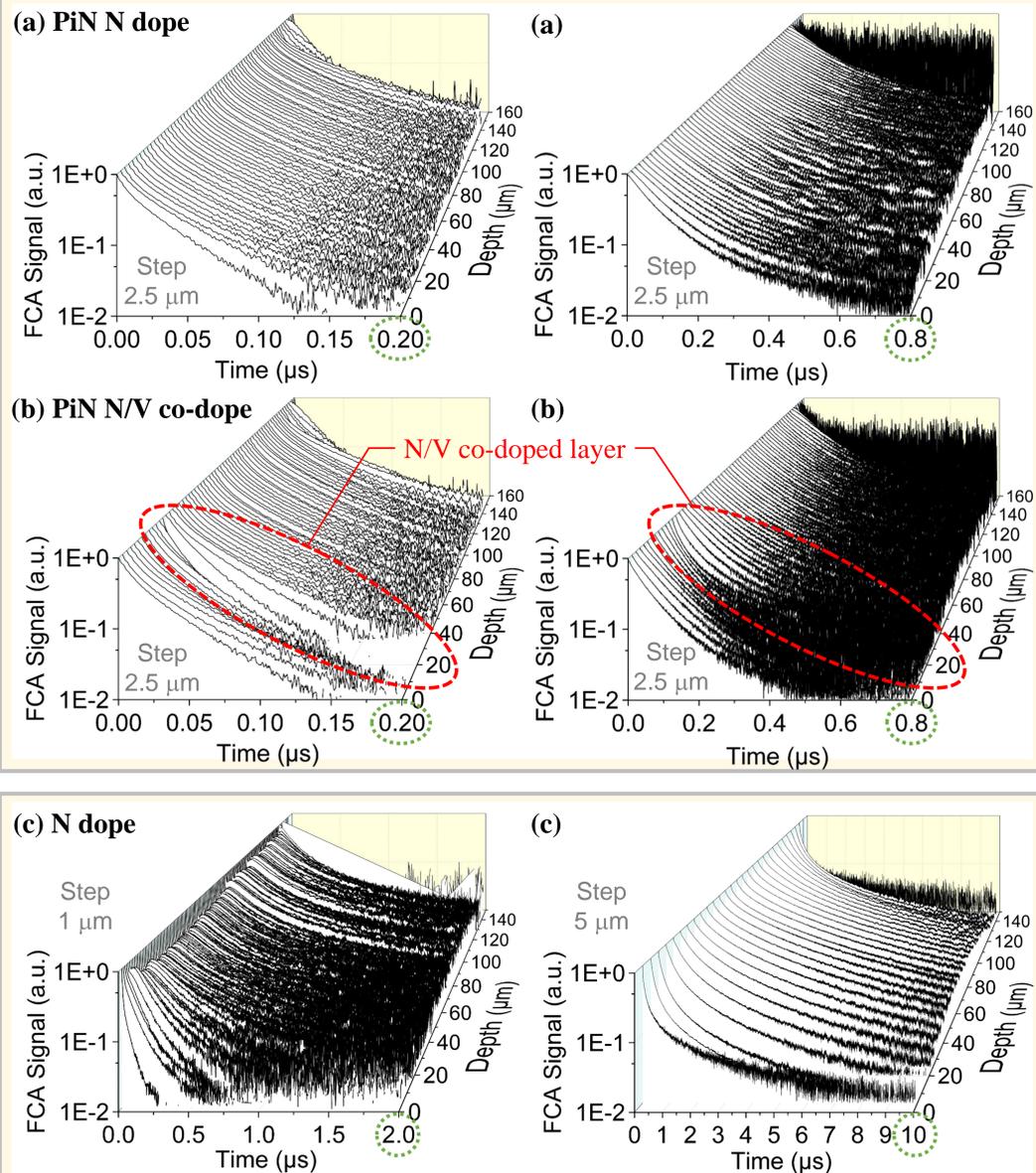
① 精密測定
最高分解能での分布評価が可能
(波長: 405 nm, スポット径: $\sim 30 \mu\text{m}$)

② 拡大測定
分布に加えて絶対値解析が可能
(波長: 637 nm, スポット径: $\sim 90 \mu\text{m}$)

結果・考察 三次元減衰曲線: 各深さでの規格化した減衰曲線

① 精密測定

② 拡大測定

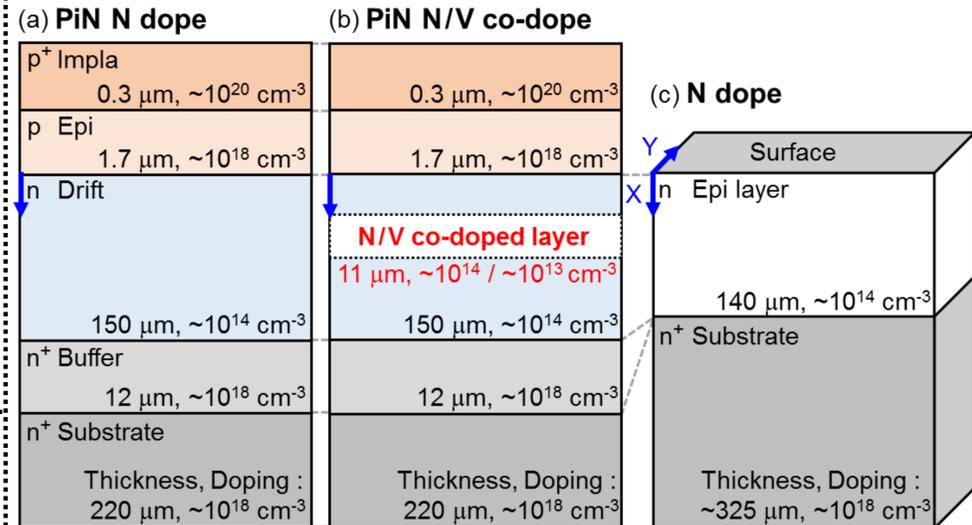


キャリア拡散によるライフタイム絶対値の過小評価の抑制に成功

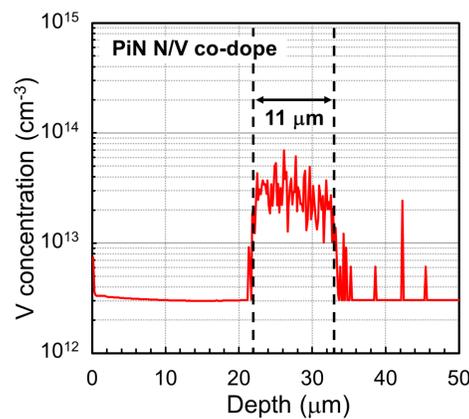
まとめ・ PiN N/V co-dopeにおける分布から**最高分解能($\sim 3 \mu\text{m}$)**を確認
・ N dopeにおける τ_{HL} と L_a の推定値は **$\sim 10 \mu\text{s}$, $\sim 60 \mu\text{m}$**

測定試料

機械研磨処理後の断面($Y=0$)に対して深さ分解測定(X方向)実施



(a),(b) 熱酸化: 1300 °C 5 hr.×2, アニール: 1550 °C 30 min (C拡散)
(b) N/V co-doped layer: 局所的に埋め込まれた短ライフタイム層
(c) C⁺注入: $\sim 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ (全ドーズ量), アニール: 1650 °C 30 min

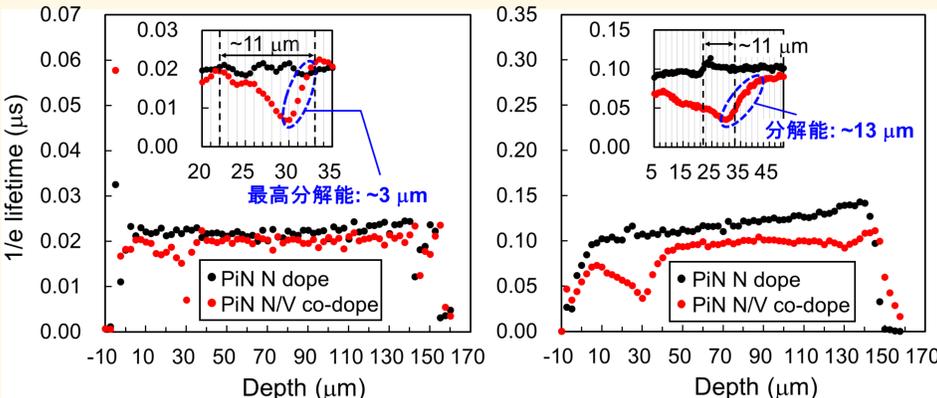


PiN N/V co-dope における SIMS プロファイルより、N/V co-doped layer は設計通りの埋め込みであることを確認

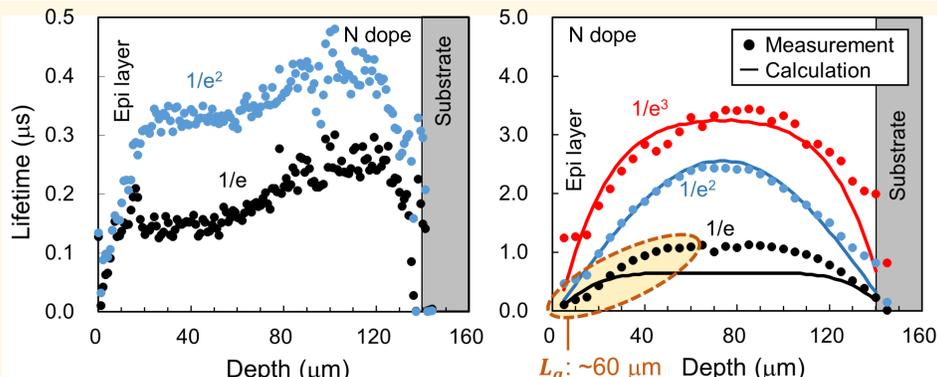
1/e, 1/e², 1/e³ ライフタイム: 減衰評価のため定義したピークから 1/e, 1/e², 1/e³ に減衰するまでの時間

① 精密測定

② 拡大測定



- ① Vドープ領域の基板側での分布から**最高分解能($\sim 3 \mu\text{m}$)**を確認
- ② FCA測定結果^[4]より高い分解能から本研究の優位性を明示
- ③ 1/eの絶対値から短い高注入ライフタイム($< 10 \mu\text{s}$)を示唆



- ① 分布から表面・界面再結合速度の違いを確認
- ② 計算値(条件: $\tau_{HL} = 10 \mu\text{s}$, $n = 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)と測定値が一致
 $D_a = 4.2 \text{ cm}^2/\text{s}$ ^[5]より, $L_a = \sqrt{D_a \cdot \tau_{HL}} = \sim 60 \mu\text{m}$ と推定
- ・ 更に、一様な分布から表面再結合によりライフタイムが低減するまでの幅($\sim 60 \mu\text{m}$)から推定値の妥当性を確認

計算値: 過剰キャリア密度の一次元偏微分方程式 (境界条件)

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \frac{n}{\tau_{HL}} - Bn^2 - Cn^3 \quad \left(D \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_{x=0} = S_1 n, D \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_{x=140} = -S_2 n \right)$$
 n : 過剰キャリア密度, D : 拡散係数, τ_{HL} : 高注入ライフタイム, B : 輻射再結合係数^[6], C : オージェ再結合係数^[6], S_1, S_2 : 表面・界面再結合係数(共に $1000 \text{ cm}^2/\text{s}$)

参考文献 [1] K. Murata et al., J. Appl. Phys. 126, 045711 (2019). [2] K. Nakayama et al., Extended Abstract of ICSRM2017, TH.D1.9. [3] J. Linnros et al., J. Appl. Phys. 84, 275 (1998). [4] V. Grivickas et al., Thin Solid Films 364, 181 (2000). [5] T. Kimoto et al., J. Appl. Phys. 108, 083721 (2010). [6] P. Ščajej et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 46, 265304 (2013).

【謝辞】本研究は、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/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)により実施され、また JST 地域産学バリュープログラムの支援も受けた。