

SiC エピ膜から得られる μ -PCD および TR-PL 減衰曲線の比較

Comparison of decay curves obtained by μ -PCD and TR-PL for SiC epilayers

名工大¹, [○]加藤 正史¹, 片平 真哉¹
 NITech¹, [○]Masashi Kato¹, Shinya Katahira¹
 E-mail: kato.masashi@nitech.ac.jp

SiC のキャリア寿命評価法としてマイクロ波光導電減衰(μ -PCD)法と時間分解フォトルミネッセンス(TR-PL)法が一般的である。それらの手法は用いているプローブが異なるため、同じ試料を測定しても信号が異なる。それゆえ、キャリア寿命を正確に評価するためには、それぞれの手法の特徴を理解する必要がある。特に、試料のドーピング密度よりも励起キャリア密度が大きい高注入条件では、両手法で得られる減衰曲線に大きな相違が現れる。本研究では両手法の相違が何に起因するかを整理することで、SiC エピ膜内部のキャリア再結合過程を議論する。なお、本研究で使用した試料には $Z_{1/2}$ センター低減処理は施していない。

Fig. 1 は p 型 4H-SiC 自立エピ膜に対する波長 355 nm のパルスレーザーで励起した場合の μ -PCD と TR-PL 減衰曲線である。励起キャリア密度は $1.4 \times 10^{12} - 8.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ の範囲で変化させている。図に示すように、 μ -PCD では上に凸、TR-PL では下に凸の減衰曲線が得られている。 μ -PCD で上に凸なのは、高注入でのキャリア寿命が低注入のそれより長いことと[1]、マイクロ波の反射率の非線形性、そして電子正孔対散乱によるものである[2]。一方、TR-PL で下に凸なのは、高注入では PL 信号が励起キャリア密度の二乗に比例すること[1]、そして初期の減衰には積層欠陥などによる速い減衰成分が含まれるためである[3]。時間がある程度経ち、低注入の状態になると両者の傾きはほぼ同じになり、どちらも低注入キャリア寿命 $0.39 \mu\text{s}$ を評価可能であることを示している。

Fig. 2 に n 型 4H-SiC 自立エピ膜に対し Fig. 1 と同様の条件で実験した結果を示す。 μ -PCD はほぼ直線、一方で TR-PL は若干下に凸の減衰曲線を示した。 μ -PCD が直線なのは、高注入キャリア寿命と低注入キャリア寿命がほぼ同じことを意味している。時間が十分経つと両手法の傾きは近づく、しかしノイズの影響もあり同じ傾きにはならない。ここで、 $Z_{1/2}$ センターが再結合中心であるというモデルにおいて、高注入キャリア寿命は低注入キャリア寿命より優位に長く[4]、 μ -PCD も TR-PL も上に凸の曲線を示すはずである。つまり、この試料のキャリア寿命は、 $Z_{1/2}$ センターのみで決定されていないことを意味する(なお、Hayashi らは $Z_{1/2}$ センター低減処理後の n 型 4H-SiC において、注入条件によらずほぼ一定のキャリア寿命の値を報告している[5])。これらのことはキャリア寿命の制御には、 $Z_{1/2}$ センター以外の欠陥の存在を考慮すべきことを示唆している。

[1] P. B. Klein, J. Appl. Phys. 103, 033702 (2008). [2] M. Kato et al., Jpn. J. Appl. Phys. 54, 04DP14 (2015). [3] M. Kato et al., J. Appl. Phys. 124, 095702 (2018). [4] S. Yamashita et al., Appl. Phys. Express 13, 011006 (2020). [5] T. Hayashi et al., J. Appl. Phys. 109, 014505 (2011).

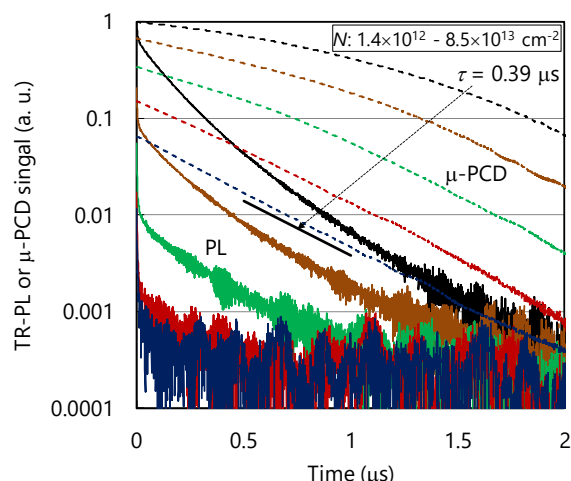


Fig. 1. Decay curves by TR-PL and μ -PCD for p-type 4H-SiC. The solid and dashed lines are for TR-PL and μ -PCD, respectively. The injected photon densities are $1.4 \times 10^{12} - 8.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, and the signals were normalized by the peak at $8.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ for each method. The slope of the straight line corresponds to a time constant of $0.39 \mu\text{s}$

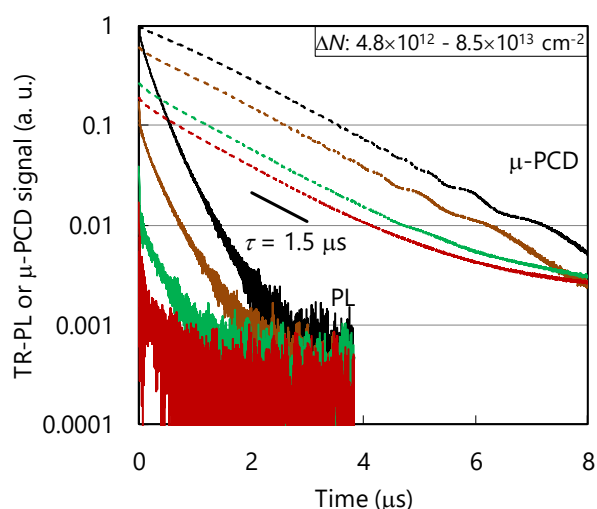


Fig. 2. Decay curves obtained by TR-PL and μ -PCD for a n-type 4H-SiC. The slope of the straight line corresponds to a time constant of $1.5 \mu\text{s}$