

京都大学教育研究振興財団助成事業  
成 果 報 告 書

2019 年7月23日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 藤 洋 作 様

所属部局・研究科 工学研究科・電子工学専攻

職 名・学 年 博士後期課程2年生

氏 名 前田 拓也

助成の種類	令和元年度 ・ 国際研究集会発表助成		
研究集会名	the 13th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS13)		
発表形式	<input type="checkbox"/> 招待 ・ <input checked="" type="checkbox"/> 口頭 ・ <input type="checkbox"/> ポスター ・ <input type="checkbox"/> その他( )		
発表題目	Estimation of Impact Ionization Coefficient in GaN and its Temperature Dependence by Photomultiplication Measurements Utilizing Franz-Keldysh Effect		
開催場所	United States of America, Seattle (Bellevue)		
渡航期間	2019年7月7日 ～ 2019年7月20日		
成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有( )		
会計報告	交付を受けた助成金額	200,000円	
	使用した助成金額	200,000円	
	返納すべき助成金額	0円	
	助成金の使途内訳	参加費:	40,880円
		渡航費:	280,580円
		滞在費:	120,000円
不足分は他財源にて支払いました。			

(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) この度は助成をいただきまして誠にありがとうございました。

当財団の助成について	
------------	--

# 京都大学教育研究振興財団助成事業 成果報告書

令和元年 7 月 23 日 京都大学 前田拓也

## 成果の概要

窒化ガリウム(GaN)は、その優れた物性から次世代パワーデバイス材料として期待されている。パワーデバイスの耐圧や安全動作領域を予測するには、正確な衝突イオン化係数の値を用いたデバイスシミュレーションが必要である。これまで我々は、Franz-Keldysh (FK) 効果による光吸収を利用し、光電流の電圧依存性からアバランシェ増倍係数を求める測定方法を報告してきた[1]。本研究では、両側空乏ベベルメサ構造を有する GaN p-n 接合ダイオード[2]を用いて、FK 効果を利用した光電流増倍測定から増倍係数を求め、電子と正孔の衝突イオン化係数が等しいとの仮定の下ではあるが、GaN におけるキャリアの衝突イオン化係数およびその温度依存性を推定することに成功した。

本研究では、ドーピング密度が異なる 4 種の GaN p-n 接合ダイオード ( $N_dN_a/(N_dN_a) = 4.7 \times 10^{16}, 6.4 \times 10^{16}, 1.2 \times 10^{17}, 1.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) [2]について、波長 405 nm の単色光照射下における逆方向電流-電圧特性を測定した。図 1 に光電流の電圧依存性を示す。逆バイアス電圧印加時、FK 効果によるサブバンドギャップ( $h\nu < E_g$ )光吸収が生じ、その光電流の電圧・波長依存性は空乏層における光吸収量を考慮することで定量的に計算できる[3]。図 1 に FK 効果による光電流の計算値を赤点線で示す。どの素子においても絶縁破壊電圧の半分程度までは実験値を非常によく再現できている。一方、さらに高電圧域では、アバランシェ増倍により実験値が計算値を大きく上回っていることが分かる。増倍係数は、FK 効果による(増倍のない)光電流の計算値に対する実験値の比( $M = I_{\text{exp}}/I_{\text{FK}}$ )として求めることができる[1]。図 2 に増倍係数の電界依存性を示す。電子と正孔の衝突イオン化係数が等しいと仮定することで、衝突イオン化係数( $\alpha_n = \alpha_p \equiv \alpha$ )を求めた結果を図 3 に  $\alpha - E^{-1}$ プロットとして示す。それぞれの PND から得られた  $\alpha$  は同一直線上に位置しており、Chynoweth の経験式[4]によるフィッティングにより、 $\alpha = 1.3 \times 10^6 \cdot \exp\{-(1.18 \times 10^7/E)\}$  が得られた。得られた衝突イオン化係数の式を用いて計算した増倍係数を図 2 に赤点線で示す。実験値と計算値は 2.0–3.3 MV/cm の範囲でどの PND においてもよく一致している。これは、データの信頼性が高いことを支持している。なお、温度依存性についても測定し、温度上昇に伴って増倍係数が減少し、破壊電圧(破壊電界)が増大した。これらは、温度上昇につれてフォノン散乱レートが増大し、衝突イオン化係数が減少したことを反映している。Okuto-Crowell モデル[5]を用いて得られた衝突イオン化係数の温度依存性についてもフィッティング・モデル化することができた。本研究で提案した手法は、GaN のアバランシェ増倍の測定に有用であり、また、これらの結果は、GaN のアバランシェ破壊特性を理解する上で重要な知見となる。

[図表]

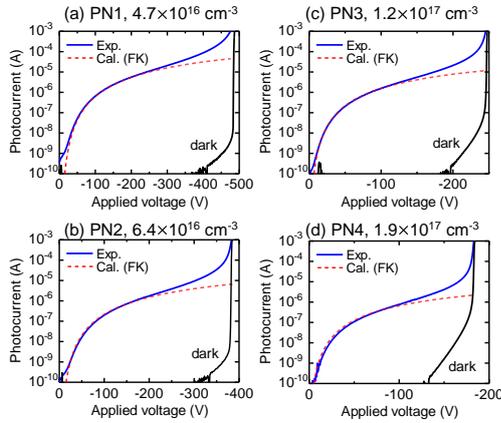


Fig.1. Experimental photocurrents and the calculated curves with consideration of the light absorption the Franz-Keldysh effect in the GaN PNDs.

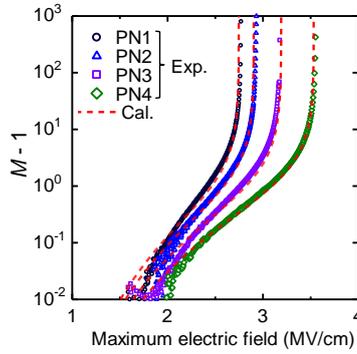


Fig.2. Experimental multiplication factors and the calculated curves using the ionization coefficient  $\alpha$  shown in Fig. 3.

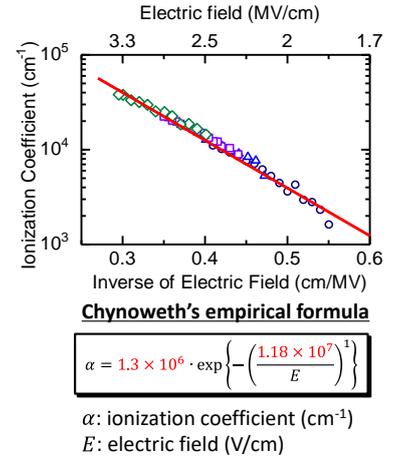


Fig.3. Impact ionization coefficient in GaN extracted from the multiplication factors based on the assumption;  $\alpha \equiv \alpha_n = \alpha_p$ .

[参考文献]

- [1] T. Maeda *et al.*, *proceedings of ISPSD2019*, pp. 59-62.
- [2] T. Maeda *et al.*, *IEDM Technical Digest*, 2018, 30.1.1-30.1.4.
- [3] T. Maeda *et al.*, *Applied Physics Letters* **112**, 252104 (2018).
- [4] A.G. Chynoweth, *Phys. Rev.* **109**, 5 (1958).
- [5] Y. Okuto and C. R. Crowell, *Solid-State Electron.* **18**, 161-168 (1974).

なお、本研究は、2019年7月に米国 Seattle (Bellevue)で行われた国際会議 the 13th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS13)にて口頭発表された。また、本内容は、現在、T. Maeda *et al.*, “Measurement of avalanche multiplication utilizing Franz-Keldysh effect in GaN p-n junction diodes with double-side-depleted shallow bevel termination”, として、国際学術誌 *Applied Physics Letters* に投稿中(under minor revision)である。

最後に、本研究発表にあたり、研究助成を頂きました京都大学教育研究振興財団に心から御礼申し上げます。誠にありがとうございました。