

# 広い禁止帯を持つ半導体の衝突電離過程における散乱内電界効果 Intracollisional Field Effect in Impact Ionization Processes of Wide-gap Semiconductors

阪大工 ○牧平 真太郎, 森 伸也

Osaka Univ. ○Shintaro Makihira, Nobuya Mori

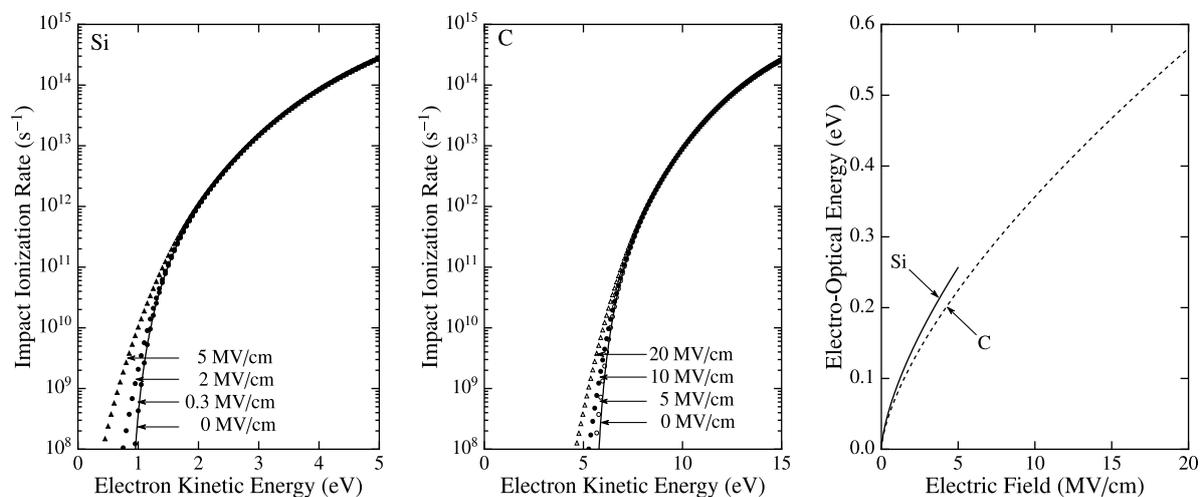
E-mail: {makihira, mori}@si.eei.eng.osaka-u.ac.jp

SiC, GaN, ダイヤモンド (C) などの広い禁止帯 (WBG) を持つ半導体では, 絶縁破壊電界が数 MV/cm と高く, パワーデバイス応用に向けて, Si に代わる半導体材料として注目されている. この絶縁破壊電界を決定する主な要因は衝突電離過程と考えられている. しかし, 数 MV/cm 程度の印加電界のもとでは, 散乱中に電子が加速される, 散乱内電界効果 (ICFE) が重要な役割を演じると予想される [1]. 本研究では, WBG 半導体の衝突電離確率に ICFE が与える影響について調べた.

古典的な取り扱いでは, 散乱は瞬時に起こるとされるが, 量子論的には, 散乱が完了するためには有限の時間が必要であると考えられる. ICFE は, 散乱中にも電子が加速され続ける効果である. 衝突電離過程において, ICFE を考慮すると, 閾値エネルギー以下の電子が散乱中に加速され, 散乱完了時までに閾値に達することがあるため (典型的には, 電子光学エネルギー  $\hbar\omega_F$  程度, 電子は散乱中にエネルギーを得る), 衝突電離過程の閾値エネルギーが見かけ上低くなる. 本研究では, 文献 [2] の手法を用いて, ICFE を考慮した衝突電離確率を計算した.

図 1 に, Si における衝突電離確率  $W_{Si}(E)$  の始状態電子エネルギー依存性を示す. 印加電界  $F$  の増加に伴い, 閾値エネルギーが見かけ上低くなる様子が分かる. しかし, 閾値が顕著に変化する  $F$  は 2 MV/cm 程度以上であり, Si の絶縁破壊電界 ( $\sim 0.3$  MV/cm) 以下では, ICFE は無視できると考えられる. 図 2 に, C における計算結果  $W_C(E)$  を示す. Si の場合と比べ, 電界依存性が弱く見える. この様子は, 以下のように理解される. 図 3 に示したように, 電子光学エネルギー  $\hbar\omega_F$  は,  $F \lesssim 5$  MV/cm において, Si と C との間に大きな違いがない. このため, 禁止帯の大きな C の衝突電離確率の電界依存性が, Si と比べ, 相対的に弱く見える. さらに, 閾値エネルギー付近の状態密度のエネルギー依存性が Si と C とで異なるため,  $W_C(E)$  の電界依存性が弱くなる. なお, 図 1, 2 では, 簡単化のため, バンド端の有効質量を用いて計算した  $\hbar\omega_F$  を用いた. ICFE が衝突電離確率に与える影響を, より正確に調べるためには, 加速中のバンド構造から  $\hbar\omega_F$  を求める必要がある.

[1] Bude *et al.*, Phys. Rev. B **45**, 10958 (1992). [2] Hill, J. Phys. C: Solid State Phys. **9**, 3527 (1976).



**Fig. 1:** Impact ionization rate for Si. **Fig. 2:** Impact ionization rate for C. **Fig. 3:** Electro-optical energy  $\hbar\omega_F$ .