

イオン化積分法によるダイヤモンドの破壊電界

Breakdown electric field of diamond estimated using ionization integrals

早大ナノ理工学研究機構¹, 早大理工学術院² ○平岩 篤¹, 川原田 洋^{1,2}INN, Waseda Univ.¹, Fac. Sci. Eng., Waseda Univ.², °Atsushi Hiraiwa¹, Hiroshi Kwarada^{1,2}

E-mail: hiraiwa@aoni.waseda.jp

1. 緒言 ダイヤモンドは破壊電界が高いために電力素子形成用の半導体基板として有望である。しかし、20MV/cm もの高い破壊電界を達成したとの報告¹⁾がある一方で、多くは 5MV/cm 以下の破壊電界に甘んじている²⁾。これら一見して矛盾する結果は、ダイヤモンドを電力素子に応用する上でその有効性に少なからず疑念を生ずる。本報告では、上記した従来結果の妥当性を半導体物理に則り検証する。

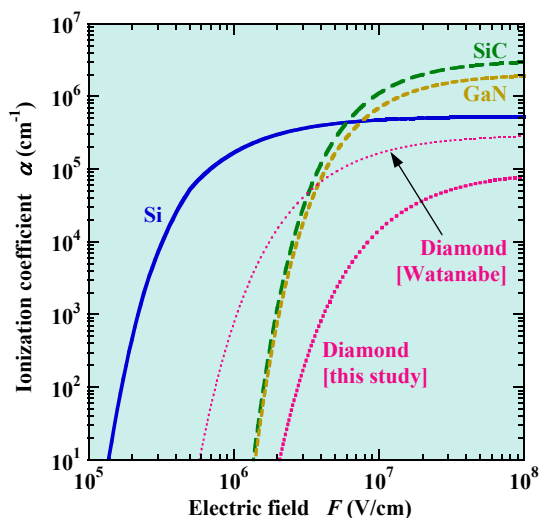
2. 解析方法 片側階段接合に対して逆バイアス電圧を付加した際のイオン化積分

$$I = \int_{x_n}^{x_p} \alpha [F(x)] dx \quad (1)$$

を図1³⁾に示す衝突電離係数 α を用いて計算し、同積分が 1 となる逆バイアス電圧から求めた電界強度 (絶対値) の最大値を低ドーピング領域における不純物密度の関数として求めた (図2³⁾)。なお、ダイヤモンドの α は、破壊電界が上記文献値と一致するように、既報の理論値⁴⁾をスケーリングして求めた³⁾：

$$\alpha = 9.44 \times 10^4 \text{ cm}^{-1} \exp(-1.90 \times 10^7 \text{ Vcm}^{-1}/F) \quad (2)$$

また、いずれの α にも、電子と正孔に対する値 α_n と α_p の幾何平均 $\alpha \equiv \sqrt{\alpha_n \alpha_p}$ を用いた³⁾。

図1. 半導体の衝突電離係数³⁾

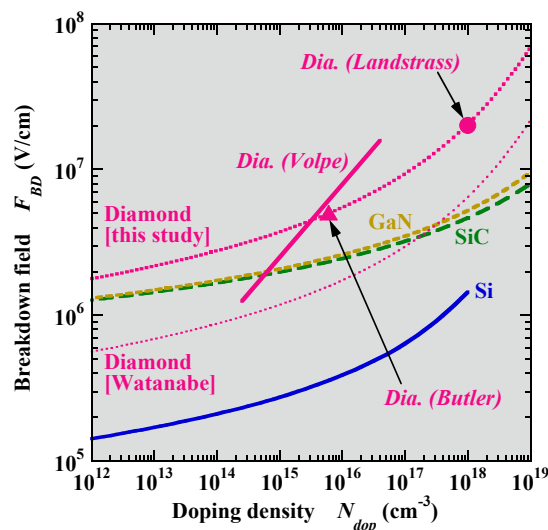
3. 解析結果 ダイヤモンドの破壊電界は、 α に理論値⁴⁾を用いた場合、期待に反し他のワイドバンドギャップ (WBG) 半導体より小さいが、(2) 式を用いた場合、他の WBG 半導体より大きく、かつ実験結果^{1, 2)}と良く一致する。また、同破壊電界が不純物濃度とともに大きく変化しており、これが原因となり既報の実験結果が互いに矛盾して見えたものと考ええる。なお、不純物濃度が 10^{18} cm^{-3} の場合、20MV/cm という高い破壊電界を期待できるが、破壊電圧自体は 650V 程度であることに注意が必要である。

4. 結言 イオン化積分法により計算した破壊電界が既報の実験値と良く一致するダイヤモンドの衝突電離係数を提案した。同係数を用いた計算結果によるとダイヤモンドの破壊電界が不純物濃度に大きく依存するので、破壊電界の比較検討は不純物濃度を揃えて行うことが肝要である。

【謝辞】 本研究遂行にあたり JST 先端的低炭素化技術開発 (ALCA) の助成を得た。

【参考文献】 以下においては筆頭著者のみを表示。

- 1) M. I. Landstrass, *Diamond Relat. Mater.* **2** (1993) 1033.
- 2) J. E. Butler, *Semicond. Sci. Technol.* **18** (2003) S67.
- 3) A. Hiraiwa, *J. Appl. Phys.* **114** (2013) 034506.
- 4) T. Watanabe, *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** (2001) L715.

図2. 半導体の破壊電界³⁾