β-Ga₂O₃ショットキーバリアダイオードおける Franz-Keldysh 効果に起因した光電流 Photocurrent induced by Franz-Keldysh effect in β-Ga₂O₃ Schottky Barrier Diode <u>前田拓也</u>^{1*},江間研太郎², 佐々木公平², 東大院工¹, ノベルクリスタルテクノロジー² <u>T. Maeda¹</u>, K. Ema² and K. Sasaki² The University of Tokyo, EEIS¹, Novel Crystal Technology, Inc.² *e-mail: tmaeda@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

半導体に高電界を印加すると電子・正孔の波動関数が禁制帯中に浸み出し、基礎吸収端より短 波長側($hv > E_g$)で吸収係数の振動,長波長側($hv < E_g$)で吸収係数の裾引きが起こる.これはFranz-Keldysh (FK)効果として知られている[1,2]. FK 効果は変調分光法などに活用されてきた他[3],近 年, $hv < E_g$ の光照射時に高電界で局所的に光誘起キャリアを注入することができる性質を活かし て GaN の衝突イオン化係数の測定にも利用された[4].本研究では、 β -Ga₂O₃ショットキーバリア ダイオード(SBD)に基礎吸収端より長波長($hv < E_g$)の単色光を照射し、光電流の逆バイアス電圧 依存性および波長依存性を調べ、FK 効果に起因した光吸収の測定・解析に成功したので報告する.

図1に測定に用いたNi/Ga2O3 SBDの構造を示す. 順方向 I-V 測定よりn 値 1.03, 障壁高さ 1.16 eV, C-V測定より実効ドナー密度 6.5×10¹⁵ cm⁻³, 障壁高さ 1.16 eV (拡散電位 0.97 V), 内部光電子放出 (IPE)測定より障壁高さ 1.17 eV が得られ、良好な Schottky 界面が形成されていることが分かった. 光電流の測定には、分光器付きの Xe ランプ(MLS-1510, 朝日分光)を使用し、ファイバーを介して レンズにより 5 mm 径に集光し、デバイス表面に照射した.表面から照射した光は Ga2O3 結晶中 に侵入し, 裏面・表面電極での多重反射を介して Schottky 接合に照射される[5]. 図 2 に波長 275-300 nm の光照射下の光電流の逆バイアス電圧依存性を示す. 照射光子束が 1×10¹⁴ cm⁻²s⁻¹となる ようにデータを規格化している. 波長 300 nm の光電流はほぼ電圧に無依存であり, これは IPE に 起因した光電流であると考えられる.一方,波長 285 nm の光電流は 70 V 程度からやや増加が見 られる.照射光波長がさらに基礎吸収端(~264 nm, 4.7 eV)に近づくにつれて、より低電圧から増加 し始め、増加量も顕著になっていることがわかる.この電圧依存性・波長依存性は、FK 効果に起 因していると考えられる.吸収係数の電界依存性を Aspnes の理論[6]に基づいて計算し, Schottky 接合の空乏層内の電界分布に対して吸収係数の分布を計算し、光吸収量が十分小さいことから照 射光子が空乏層内を1往復すると考えて, FK 効果による光電流の計算を行なった. 吸収係数の計 算には, バンドギャップ 4.7 eV, 屈折率 2.1, 換算有効質量 0.3m₀ を用いた. 計算した結果を図 2 に 赤点線で示す.光電流の波長依存性・電界依存性の実験値と計算値は非常によく一致している.

β-Ga₂O₃ は特異な価電子帯構造を有しており,正孔の有効質量は電子に対して極めて大きいため,換算有効質量の値が電子の有効質量にほぼ等しい.これは,β-Ga₂O₃ における FK 効果による 光吸収が電子の伝導帯電子の波動関数の浸み出しによってほぼ決まることを意味している.これ らの結果は,β-Ga₂O₃の高電界における光吸収を考慮する上で有用な結果である.

【参考文献】[1]V. W. Franz, Z. Naturforsh. A 13, 489 (1958). [2] L. V. Keldysh, Sov. Phys. JETP 34, 1138 (1958). [3] C. Wetzel et al., J. Appl. Phys. 85, 3786 (1999). [4] T. Maeda et al., J. Appl. Phys. 129, 185702 (2021). [5] T. Maeda et al., Appl. Phys. 85, 3786 (1999). [6] D. E. Aspros. Phys. 754 (1966).

[5] T. Maeda et al., Appl. Phys. Express 9, 091002 (2016). [6] D. E. Aspnes, Phys. Rev. 147, 554 (1966).



Ohmic (Ti/Au)

Fig.1. Schematic cross section of Ni/β -Ga₂O₃ Schottky barrier diode under below-bandgap illumination.



Fig.2. Reverse voltage dependence of photocurrent in β -Ga₂O₃ Schottky barrier diode for wavelengths of 275-300 nm. Open circles and red broken lines are experimental data and calculated curves, respectively.