

GaN IMPATT ダイオードにおける発振特性の接合直径依存性

Junction Diameter Dependence of Oscillation Characteristics of GaN IMPATT Diode

名大院工¹, 名大未来研², 名大 VBL³, 赤崎記念研究センター⁴

○川崎晟也¹, 隈部岳瑠¹, 安藤悠人², 出来真斗^{1,3}, 渡邊 浩崇², 田中敦之²,
新田州吾², 本田善夫², 新井学², 天野浩^{2,3,4}

Dept. of Electronics, Nagoya Univ.¹, IMaSS, Nagoya Univ.²,
VBL, Nagoya Univ.³, ARC, Nagoya Univ.⁴

○Seiya Kawasaki¹, Takeru Kumabe¹, Yuto Ando², Manato Deki^{1,3}, Hirotaka Watanabe²,
Atsushi Tanaka², Shugo Nitta², Yoshio Honda², Manabu Arai² and Hiroshi Amano^{2,3,4}

Email: s.kawasaki@nagoya-u.jp

<はじめに> GaN IMPATT ダイオードは 1 mW を超える高出力動作可能なテラヘルツ光源として期待されている[1]. 最近我々は, 理想的なアバランシェ降伏を示す GaN p-n ダイオードを用いて, X 帯での GaN IMPATT ダイオードの発振に成功した[2]. さらに高周波となる, ミリ波帯での IMPATT ダイオードの発振を実現するには, デバイスの構造パラメータ等を適切に設計する必要がある. Si IMPATT ダイオードでは, 特に接合直径が最高発振可能周波数や発振出力といった高周波特性に影響を与えることが知られている[3]. しかしながら, GaN IMPATT ダイオードにおいては, 構造パラメータと高周波特性の対応について実験的な検討は報告されていない. そこで本研究では, 接合直径の異なる GaN IMPATT ダイオードを作製し, その発振特性, 主に発振周波数の振る舞いについて調査をしたので報告する.

<実験> p⁺-n 片側階段接合を有する単一走行型(SDR)の IMPATT ダイオードを作製した. n 型 GaN 自立基板上に MOVPE により p-n 構造を成長させた. ドリフト層膜厚は 3.1 μm とし, C-V 測定から求めた実効ドナー濃度は 8.7×10¹⁶ cm⁻³ であった. p⁺層は[Mg]: 2×10¹⁹ cm⁻³, 500 nm とした. 素子分離および電界緩和として ICP-RIE により, 垂直に 5 μm のメサエッチングを行い, p 側に Pd/Au オーミック電極, n 側に Ti/Al オーミック電極を形成した. メサ径は 100, 150, 200 μm とした. 作製したダイオードをピルパッケージへ実装し, X 帯の方形導波管(WRJ-10)を用いて, 発振特性の評価を行った. 外部回路から降伏電圧程度の方形波パルス(パルス幅 500 ns, 周期 2 ms)を印加することでアバランシェ降伏を発生させ, ピーク電流を 0.5 - 2.5 A の間で変化させた. 各動作点における IMPATT ダイオードの, 発振周波数をスペクトラムアナライザにより, 出力をパワーセンサにより測定した.

<結果> 各接合直径, 各動作点で得られた発振周波数を図 1 に示す. 最高発振周波数として, 接合直径が 200 μm では 12.81 GHz, 150 μm では 16.75 GHz, 100 μm では 21.10 GHz がそれぞれ得られ, 接合直径が小さくなるにつれ, 発振周波数は高くなった. これは接合直径を小さくしたことで 1). 接合容量が低下しダイオードのサセプタンスが低下, 2). 接合面積が小さくなり印加電流密度が増加, したことで許容される最高発振周波数 f_m が高くなったためと考えられる. 得られた発振周波数の接合直径依存性について, 表 1 に示すようなダイオードの構造パラメータ及び, GaN の物性値から大森らのモデル[3]を用いて数値計算した結果を図 1 に同じく示す. 計算値と実験値はよく一致していることが分かる. このことから, GaN IMPATT ダイオードにおいても, 従来の Si IMPATT ダイオードと同様のモデルで発振特性の設計, 見積もりが可能であることが確認された.

<参考文献>

[1] A. Biswas *et al.*, J. Infrared Milli Terahz Waves **39**, 954 (2018).
[2] S. Kawasaki *et al.*, Appl. Phys. Express **14**, 046501 (2021).
[3] M. Ohmori *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, **ED-24** 12 (1977).
【謝辞】本研究は, 文部科学省 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 JPJ009777 の助成を受けたものです. 本研究の遂行にあたり数々の御意見を賜りました名古屋大学未来材料システム研究所 原信二先生並びに, 静岡大学電子工学研究所 猪川洋先生に深く感謝申し上げます.

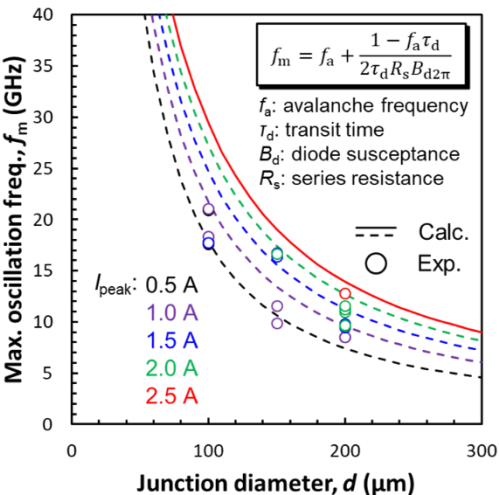


Fig. 1. Oscillation frequency versus junction diameter. Open circles are experimental data. Solid and dash line curve are calculation result. Colors indicate input peak current.

Table 1. Values for the numerical calculation.

Parameter	Value
Critical electric field, E_{cr}	3.05 MV/cm
Depletion layer width, X_d	2.01 μm
Avalanche region width, X_a	1.0 μm
Elec. sat. velocity, v_s	1.0×10 ⁷ cm/s
series resistance, R_s	38 Ω