

# マイクロ波帯 Hi-Lo 型 GaN IMPATT ダイオードの設計および作製

## Design and fabrication of Hi-Lo type GaN IMPATT diode at microwave band

名大院工<sup>1</sup>, 名大 VBL<sup>2</sup>, 名大未来研<sup>3</sup>

○川崎晟也<sup>1</sup>, 隈部岳瑠<sup>1</sup>, 出来真斗<sup>1,2</sup>, 渡邊 浩崇<sup>3</sup>, 田中敦之<sup>3</sup>, 本田善央<sup>3</sup>, 新井学<sup>3</sup>, 天野浩<sup>2,3</sup>  
Nagoya Univ.<sup>1</sup>, VBL, Nagoya Univ.<sup>2</sup>, IMASS, Nagoya Univ.<sup>3</sup>

○Seiya Kawasaki<sup>1</sup>, Takeru Kumabe<sup>1</sup>, Manato Deki<sup>1,3</sup>, Hirota Watanabe<sup>2</sup>,  
Atsushi Tanaka<sup>2</sup>, Yoshio Honda<sup>2</sup>, Manabu Arai<sup>2</sup> and Hiroshi Amano<sup>2,3,4</sup>

Email: s.kawasaki@nagoya-u.jp

<はじめに> GaN IMPATT ダイオードは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]. 我々はこれまでに、10–20 GHz での GaN IMPATT ダイオードの発振に成功し、その発振特性が Read の小信号理論でよく説明できることを報告してきた[2]. しかしながら、出力に関しては、GaN の高耐圧性を反映し 500 W を超える直流電力の入力が実現できた一方で、直流 – 交流変換効率が低いことが課題であった. ダイオードの入出力特性に着目すると、出力飽和が生じる前に、つまり、ダイオードの負性コンダクタンスが極大に到達する前に、過大な入力電力により熱的に破壊される様子がみられた. そこで今回、降伏電圧 (動作電圧) を抑えつつ、低入力 (小電流) 域での効率改善が見込まれる Hi-Lo 型構造について検討したので報告する.

<設計> 動作周波数 15 GHz, 降伏電圧 350 V 以下の Hi-Lo 型 GaN IMPATT ダイオードを設計した. 図 1 に層構造と各設計パラメータを示す. Lo 層の膜厚 ( $x_d$ ) は電子飽和速度と動作周波数から  $3.7 \mu\text{m}$  とした. 直流 – 交流変換効率は降伏電圧 ( $V_b$ ) に対して、アバランシェ領域での電圧降下 ( $V_a$ ) が小さいほど、すなわち  $(V_b - V_a)/V_b$  が高いほどよい. したがって Hi 層はなるべく高濃度、薄膜で構成すると望ましい. しかし、高ドーピング濃度の GaN p-n 接合は高い破壊電界からバンド間トンネリングが生じる[3]. トンネルによるリーク電流密度の上限を  $1 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$  とするため、Hi 層のドナー濃度 ( $N_{d, \text{Hi}}$ ) は  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  とした. 次に、Hi 層の膜厚 ( $x_0$ ) 及び Lo 層のドナー濃度 ( $N_{d, \text{Lo}}$ ) に対する変換効率、 $(V_b - V_a)/V_b$ , の振る舞いを計算した結果を図 2 に示す. 図中点線は同じく 15 GHz で設計されたフラット型 ( $p^+ - n - n^+$ 構造) の場合の変換効率を示す.  $0.6 < x_0 < 0.9 \mu\text{m}$  において、 $N_{d, \text{Lo}}$  の広い範囲でフラット型を上回る効率を示しており、Hi-Lo 型構造による高効率化が期待できる. 降伏電圧 350 V 以下とすると  $x_0 = 800 \text{ nm}$ ,  $N_{d, \text{Lo}} = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  となり、この場合、約 1.5 倍の効率改善が見込まれる. これらの条件で Hi-Lo 型 GaN IMPATT ダイオードを作製しその発振特性を評価した.

<実験結果> 作製したダイオードの  $C - V$  特性から、 $N_{d, \text{Hi}} = 1.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $x_0 = 850 \text{ nm}$ ,  $N_{d, \text{Lo}} = 2.4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  が得られ、概ね設計通りのダイオードが作製できたことを確認した. 降伏電圧は 300 – 330 V 程度であった. このダイオードをピーク電流 400 mA, 動作電圧 395 V で動作させたところ、14.7 GHz で明瞭な発振が得られ、その出力は 29.1 dBm であった. 今回作製したダイオードと従来の入出力特性の比較を図 3 に示す. 30 dBm (1 W) 程度の出力を得るのに必要な入力電力が約 1/3 に低減されており、低入力域での発振効率が大幅に改善された. このことから、GaN IMPATT ダイオードにおいてもマイクロ波帯においては Hi-Lo 構造が優位であると言える.

<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] T. Shoji *et al.*, Appl. Phys. Express **14**, 114001 (2021).

【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 および、科研費 22J15656 および JP22H00213 の助成を受けて行われた.

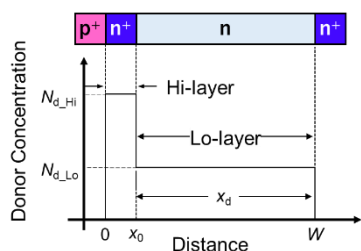


Fig 1. Schematic doping profile of single drift layer Hi-Lo type IMPATT diode.

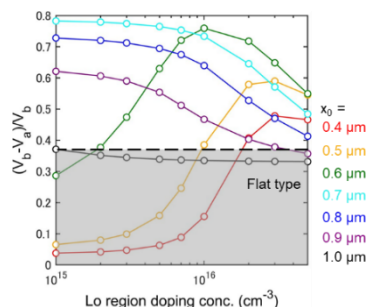


Fig 2. Lo-layer doping concentration dependence of voltage drop ratio for various Hi region thickness.

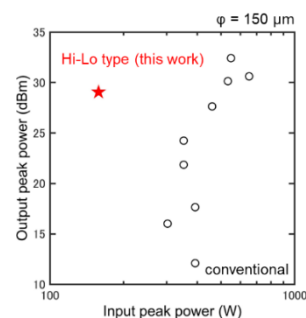


Fig 3. Input – output characteristics of conventional GaN IMPATT diode (open circle) and Hi-Lo type (red star).