

GaN 縦型パワーデバイスにおける FLR 構造の設計に向けたトポロジー最適化の検討

Investigation of Topology Optimization for Design of Field Limiting Rings in GaN Vertical Power Devices

関西学院大学¹, 大同大学² ◯ (M1) 山口 拓真¹, 野村 勝也¹, 服部 佳晋²

Kwansei Gakuin Univ.¹, Daido Univ.², ◯Takuma Yamaguchi¹, Katsuya Nomura¹, Yoshiyuki Hattori²

E-mail: yama0705taku@kwansei.ac.jp

パワー半導体デバイスではデバイス端部において電界集中による絶縁破壊を防ぐために終端構造が設けられる。近年のプロセス技術の進展により、GaN のパワーデバイスにおいても FLR (Field Limiting Rings) や JTE (Junction Termination Extension) などのイオン注入を用いた終端構造を採用できるようになった^[1]。一般的に FLR 構造の設計ではリング幅や間隔を調整する必要がある、これはパラメータ最適化に分類される。一方で、より設計自由度の高い方法としてドーズ量分布を調整するトポロジー最適化があり、JTE 構造を対象とした方法は提案されているが、導出される構造のドーズ量が場所により異なり製造が困難であるという課題がある^[2]。そこで本研究では、FLR 構造が 0 あるいは 1 の規格化ドーズ量をとる構造とみなせることに着眼し、FLR 構造の最適設計方法確立に向けた基礎検討として、ダブルウェルポテンシャルを用いた規格化ドーズ量二値化の効果を確認する。

初期構造は図 1 に示す JTE 構造を設けた pin ダイオードとした。p+ の領域は濃度が一定なボックスプロファイル、JTE 領域はガウシアンプロファイルとした。デバイス内の最大電界強度が最小となる終端構造のドーズ量分布を求めるために、文献[2]と同様に、設計変数を規格化ドーズ量 S 、目的関数を逆バイアス時の電界強度の KS 関数と設定した。なお設計領域 Ω は初期構造での JTE 構造と同じく幅 $21\mu\text{m}$ の領域に設定し、また印加電圧は 10V とした。さらに S を 0 あるいは 1 に二値化させるため、以下の制約条件を設けた。

$$p \leq k \times p_{\text{init}}, \quad p = \int_{\Omega} S^2 \times (S - 1)^2 dx \quad (1)$$

p の被積分関数はダブルウェルポテンシャルと呼ばれ、 S が 0 あるいは 1 の場合に最小値 0 をとる。なお p_{init} は初期構造での p の値である。初期構造では S を 0.4 と設定し、二値化を促進させるためにパラメータ k を徐々に減少させて制約を強めながら目的関数の最小化を行った。デバイス解析と最適化には COMSOL Multiphysics を用いた。

初期構造と最適化後の規格化ドーズ量 S の分布を図 2 に示す。 $k=1$ から 0.01 までは同じ分布となったが、 $k=0.001$ から制約が影響して二値化がはじまり、 $k=0.00001$ のときには S は 0 と 1 に近い値におおよそ二値化されており、提案手法の有効性を確認できた。一方で表 1 に示す通り、 k が小さくなり制約が影響すると目的関数が増加してしまうという課題が明らかになった。

[1] M. Matys et al., Appl. Phys. Express, **14**, 074002 (2021).

[2] K. Nomura et al., IEEE Trans. Electron Devices, **65**, 3869 (2018).

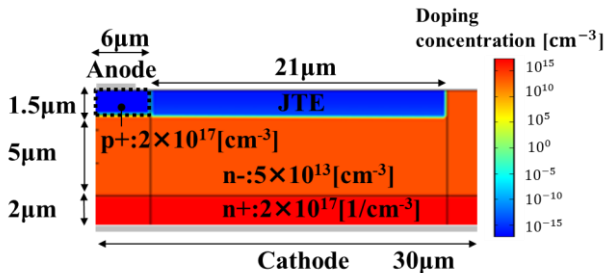


Fig.1. Initial structure.

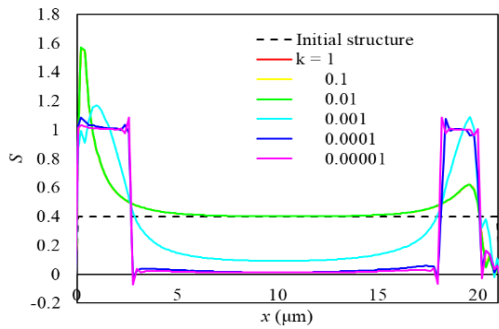


Fig.2. Normalized dose amount distribution of initial and optimized structures.

Table 1. Objectives of initial and optimized structures.

Parameter k	Objective
Initial structure	1.96×10^5
1	1.35×10^5
0.1	1.33×10^5
0.01	1.33×10^5
0.001	1.61×10^5
0.0001	2.24×10^5
0.00001	2.02×10^5