

高電圧・高速パルス発生を目指した SiC-pin ダイオードの逆回復特性解析

Analysis on Reverse Recovery Characteristics of SiC-pin Diode for High-speed and High-voltage Pulse Generator

○白井 琢穂、岩室 憲幸 (筑波大学)、福田 憲司 (産業技術総合研究所)

○Takuma Shirai, Noriyuki Iwamuro (University of Tsukuba), Kenji Fukuda (AIST)

E-mail: s1520345@u.tsukuba.ac.jp

1 緒言

電子陽電子衝突型加速器など、高電圧・高速パルス電源への適用を想定し、そのパルス発生用素子の研究を行っている。本研究では、炭化ケイ素(SiC)を用いた pin ダイオードを対象にして、高電圧で高速パルスを発生させるための素子設計指針を明確にすることを目的とする。

高電圧・高速パルスの生成は pin ダイオードの逆回復動作を活用する。逆回復特性は高電圧印加時のドリフト層 i の空乏層の拡がり方に強く依存する^[1]ため、空乏層の拡がり方を制御することで、所望のパルスを生成させることができると考えられる。

今回の発表では、SiC-pin ダイオードの逆回復現象による高電圧・高速パルス電圧を Mixed Mode シミュレーションによって再現し、ドリフト層の設計による生成パルスの違いについて検証する。

2 シミュレーションによる検討及び考察

シミュレーションは、Synopsys 社の S-Device を用いた。Fig.1 にシミュレーションに用いた回路図を示す。この回路ならびにスイッチング動作は文献[2]記載の内容を参考にした。

本研究では、pin ダイオードのドリフト層として、 n^- 層だけでなく p^- 層構造についても解析した。一般的な pin ダイオードでは i 層として n^- 層を用いる ($p^+/n^-/n^+$) が、この構造だと逆回復時の電子・正孔キャリアが p^+-n^- 接合側から素早く掃き出される。そのため、逆回復時の電子・正孔キャリア分布が p^+-n^- 接合側から先に減少していくとともに、空乏層が上記接合側から n^+ 側に拡がっていく。その結果、アノード・カソード間電圧の立ち上がりが緩やかとなる^[2]。

一方、pin ダイオードの i 層を p^- 層にした場合 ($p^+/p^-/n^+$) では、逆回復過程においてまず電子・正孔キャリアが p^+/p^- 領域から減少しはじめる。そして上記キャリアが掃き出された後に p^-/n 接合に空乏層が拡がることとなる。このことは、電子・正孔がほとんど掃き出された後に空乏層の拡大が起こることとなるため、その結果急峻なアノード・カソード間電圧が発生し、いわゆるハードリカバリー特性が得られる。

このことから、 p^- 層にした場合の方がより高電圧・高速パルスを生成することが可能となる。

Fig.2 にそれぞれの逆回復時の波形及び、ピーク電圧及び dV/dt の最大値を示す。この結果より、 $p^+/n^-/n^+$ 構造と比較して $p^+/p^-/n^+$ 構造では、逆回復時の最大電圧が約 2.6 倍、 dV/dt は約 8 倍となった。

この結果から、ドリフト層が p^- であることがより高電圧を生成する際に有利であり、かつ立ち上がり時間がより短くなることが分かる。また、 $p^+/n^-/n^+$ 構造の場合では、電圧の立ち上がり、逆回復電流が最大値に達する前に開始しているのに対し、 $p^+/p^-/n^+$ 構造の場合では逆回復電流が最大値に達した直後に、電圧が立ち上がっていることが分かる。これは、SiC では電子の移動度が正孔のその 7 倍大きく^[3]、 p^+/p^- 側において正孔の方が電子より極めて速く掃き出されるため、前述のようにドリフト層内のキャリアの掃き出しが起きた後に p^-/n^+ 接合に空乏層が拡がることに起因する。詳細な解析結果は講演時に述べる。

謝辞：本研究の一部は、共同研究体「つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC)」の事業として行われた。

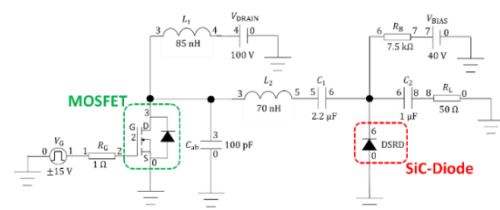


Fig. 1 Circuit for Reverse Recovery Simulation^[2]

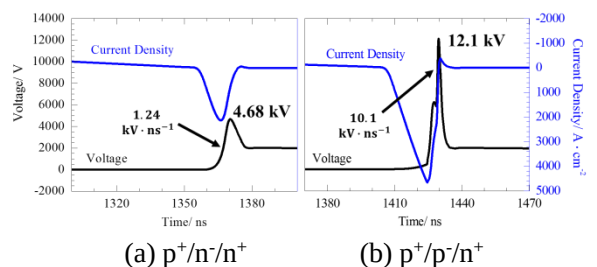


Fig. 2 Calculation Results of Reverse Recovery

[1] I. V. GREKHOV, et al., Solid-State Electronics Vol. 28, No. 6, pp.597-599, 1985

[2] Lev M. Merensky, et al., IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 41, NO. 11, NOVEMBER 2013

[3] Igor V. Grekhov, et al., Solid-State Electronics 47 (2003) 1769–1774