

# ガードリング終端構造を備えた高耐圧 SiC ショットキーバリヤダイオード

上野 勝典(うえの かつのり)

漆谷 多二男(うるしだに たつお)

関 康和(せき やすかず)

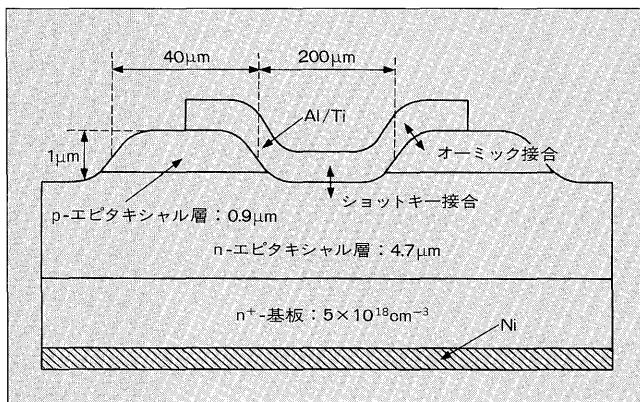
## ① まえがき

炭化ケイ素 (SiC) は最大電界強度がシリコン (Si) に比較して 1 けた高いために、低オン順電圧と低スイッチング損失を両立させることが可能なパワーデバイス用の半導体材料として期待されている。すでに金 (Au) や白金 (Pt)<sup>(3)</sup> を用いたショットキーバリヤダイオード (SBD)において、その優れた特性は確認されている。しかしながら、デバイスの終端構造は、SiC パワーデバイスにおいて重要な技術でありながら、これまで幾つかの研究報告がなされているに過ぎなかった。<sup>(4)</sup> Si の SBD の場合をもとに、富士電機では、SiC における単純で効果的なガードリング終端構造を提案した。さらに、高耐圧 SiC の SBD を作製し、<sup>(5)</sup> ガードリングの効果を確認した。

## ② デバイス構造と作製

富士電機の提案した構造を図 1 に示す。本稿では、ショットキーメタルとして、アルミニウム/チタン (Al/Ti) を選び、これを用いた SBD について報告する。Al/Ti 電極は n 形ドリフト領域とはショットキーボルトを形成するが、p 形領域すなわちガードリング領域とはオーム接合を形成するので、ガードリングの電気的なポテンシャルを

図 1 ガードリング終端構造を備えた SiC SBD の断面構造



上野 勝典

ゲート駆動パワーデバイスの研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所先端デバイス研究所中容量半導体デバイスグループ主任研究員。



漆谷 多二男

SiC デバイスおよびエピタキシャル成長の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所半導体デバイス研究所中容量半導体デバイスグループ。



関 康和

半導体デバイスの研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所先端デバイス研究所中容量半導体デバイスグループ研究マネージャー。工学博士。

ルはアノード“電極と同じ”に保つことが可能である。

この構造での素子耐圧は、最大電界強度 ( $E_{max}$ ) がショットキーボルトの端部ではなく、ガードリングの端部にかかるため、p-n 接合のメサ部によって決定される。他の一般的な高耐圧化の終端構造としてはフィールドプレート構造がある。SiC は Si に比較して最大電界強度  $E_{max}$  が約 1 けた高いため、空間電荷領域が少くなり、結果としてフィールドプレートの長さを、Si デバイスの場合よりも短くすることが可能である。これはすなわち、Si の場合よりも SiC デバイスの方が、より微細加工が必要になることを意味する。

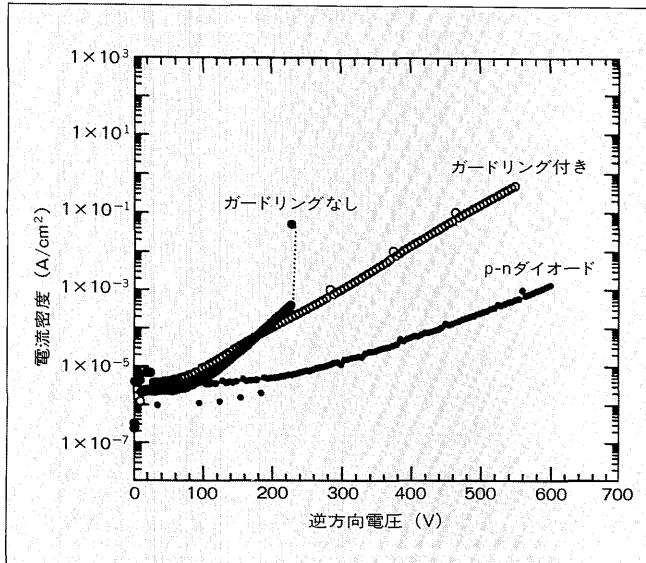
さらに通常フィールドプレート用絶縁材料として使用する  $\text{SiO}_2$  は Al/Ti や他の金属と高温処理で反応してしまう。ガードリング構造では、耐圧は接合端部によって決まるところ、 $\text{SiO}_2$  を使用しないことから、これらの問題を回避しうる。

この SBD の直径は 200  $\mu\text{m}$  であり、ガードリングの幅は 40  $\mu\text{m}$  である。順方向に電圧が印加された際にガードリングからの少数キャリヤの注入を避けるためには、ガードリングの幅は狭いほうがよい。

SiC の SBD の作製方法について述べる。ガードリングを形成する n 形ドリフト領域と p 形領域は、昇華法によって作製された 6 H-SiC ウェーハの C 面上に、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により 1,500°C で形成した。n 形ドリフト領域と p 形領域の不純物濃度および厚さはそれぞれ、 $1.3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、4.7  $\mu\text{m}$  と  $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、0.9  $\mu\text{m}$  である。メサ構造の形成に対しては、富士電機では先に提案した p-n 接合を分離する方法を用いて、酸化マスクとして 1  $\mu\text{m}$  のシリコン窒化膜を使用する選択酸化技術を適用した。選択酸化プロセスは 1,200°C で 4 時間のスチームを 2 回適用した。これによって得られたメサ部の深さと角度は、1  $\mu\text{m}$  で 20°C である。

次は Al/Ti のスパッタリングによる形成とパターニングである。デバイスの裏面にニッケル (Ni) を形成した後、オーム接合とショットキーボルトを同時に形成するため 1,050°C のアニーリングを行った。特性比較を行

図2 逆方向特性の比較



ため、ガードリングのないSBDも同一ウェーハ上に作製した。このデバイスには表面保護膜は形成しなかった。

またアニーリング温度は、良質のSBDを作成するためには重要なパラメータである。われわれは、他の論文でAl/TiのSBDの形成方法や特性などを詳しく報告する予定である。

### ③ 評価結果と考察

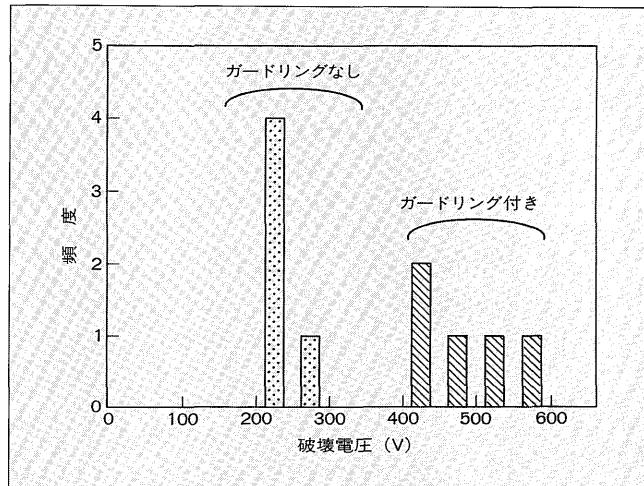
図2に、ガードリング付きのSBD (SGD: Schottky Guard-ring Diode) とガードリングなしのSBD (SD: Schottky Diode) の逆方向特性の比較を示す。SDデバイスの破壊電圧は250Vである。一方、SGDデバイスの破壊電圧は550Vであり、SDデバイスの2倍以上の値となった。ガードリングの効果を確認するため、分離したp-nダイオードも同じウェーハの中に作製した。このp-nダイオードの破壊電圧は約600Vで、これはSGDデバイスよりもやや大きな値である。最大電界強度を $2.2 \times 10^6$ V/cmと仮定すれば、作製したエピタキシャル層での理想的な破壊耐圧は770Vと計算される。

このp-nダイオードからのわずかな耐圧低下は、図2に示された大きな漏れ電流によって生ずる、大きなインパクトイオン化によるものと予想される。

図2は、SGDデバイスとSDデバイスの比較において、ガードリング構造は漏れ電流が増加しないことを示しており、それは、SGDやSGデバイスよりもp-n接合の方がより低い漏れ電流であるということにより説明される。これらの結果は、SiCにおけるSBDの理想的な破壊電圧を得るために、終端構造が重要であるということを示しており、ガードリング構造によって、p-n接合と同程度の破壊電圧を得ることができる。

破壊電圧の分布を確認するために、そのヒストグラムを図3に示した。同じウェーハからそれぞれの構造の5個を

図3 作製したSBDの耐圧分布



無作為に選んだ。この図から分かるように、明らかにSGDとSDデバイスは二つのグループに分離される。破壊電圧の偏差は20%にも広がっており、これは、図2における漏れ電流の大きさからも分かるように、Al/Tiのショットキーボーク壁形成条件が最適化されていないためと考えられる。

### ④ あとがき

富士電機では、SiCのSBDにおいて、終端構造としてガードリング構造を提案した。そして実際にデバイスを作製してガードリングの効果を明らかにした。選択酸化プロセスを用いて形成するガードリング構造を備えたSBDは、550Vの破壊電圧を示し、これはガードリング構造を備えないSBDと比較して約2倍の値を示した。

### 参考文献

- (1) Ruff, M. et al. : SiC Devices—Physics and Numerical Simulation. IEEE Trans. Electron Devices, Vol.41, p.1040 (1994)
- (2) Bhatnagar, M. et al. : SiC High Voltage SiC Schottky Barrier Diodes. IEEE Electron Device Lett., Vol.13, p.501 (1992)
- (3) Urushidani, T. et al. : SiC Schottky Barrier Diodes with High Blocking Voltage of 1 kV, in Extended Abstracts of SSDM'93, p.814 (1993)
- (4) Bhatnagar, M. et al. : Edge Termination for SiC High Voltage Schottky Rectifiers, in Proc. of ISPSD'93, p.89 (1993)
- (5) Sze, S. M. : Physics of Semiconductor Devices. 2nd ed. New York, John Wiley (1981)
- (6) Ueno, K. et al. : The Guard-Ring Termination for the High-Voltage SiC Schottky Barrier Diodes. IEEE Electron Device Lett., Vol.16, p.331 (1995)
- (7) Ueno, K. : Seki, Y. : Local Oxidation of 6H-SiC. Jpn. J. Appl. Phys., Vol.33, p.4797 (1994)



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。