

# 電力変換器の高効率化を可能にする 3 kV耐圧GaNダイオード

金田 直樹  
Kaneda Naoki

土屋 忠徹  
Tsuchiya Tadayoshi

三島 友義  
Mishima Tomoyoshi

中村 徹  
Nakamura Tohru

SiCやGaNなどの化合物半導体は、Siよりも材料固有の限界性能が高いことから、高効率な電力変換デバイス用途への展開が期待されている。近年、GaN自立結晶ウェーハが複数の企業から提供されるようになり、GaNパワーデバイスの商業的実用化に必要な要件がそろいつつある。このような中、日立電線株式会社は、欠陥密度が少なく極性反転区のない自社製GaN自立結晶ウェーハ上に有機金属気相成長(MOVPE)法を用いてpnダイオードを試作した。その結果、3 kV耐圧と $0.9 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ の低オン抵抗を実現した。

## 1. Siデバイスの性能限界を超える新材料パワーデバイスの開発

SiC(炭化ケイ素)やGaN(窒化ガリウム)はバンドギャップや絶縁破壊電界が大きく、飽和電子速度が高いことから、小型・低損失・高耐圧デバイス用の材料として期待されている。Si(シリコン)デバイスの代替だけでなく、これまでSiデバイスでは実現できなかった新しい分野での応用も徐々に進んでいくものと考えられている。

大電力用のデバイスでは、大電流密度化が可能でウェーハ利用効率の高い縦型構造が有利であるため、全面が均一で、転位、極性反転区などの結晶欠陥が少ない自立結晶ウェーハが必要となる。日立電線は、すでに青色レーザー向けに低欠陥密度のGaN導電性自立結晶ウェーハを製造・販売している強みを生かし、GaN自立結晶ウェーハ上に大型電極を有する縦型pnダイオード構造を試作して高電圧動作の実証を試みた。

## 2. GaN自立結晶ウェーハ上pnダイオードの試作

pnダイオード用エピタキシャル結晶は、MOVPE(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)法によって作製した。原料としてガリウムを含む有機金属原料と、アンモニアガスを用いた。これらの原料を主に水素ガスと混合し、 $1,000^\circ\text{C}$ 以上に加熱した成長炉内で基板となるGaN自立結晶ウェーハ上にGaN系半導体薄膜を成長させた。

pnダイオードのようなバイポーラ型デバイスでkV級の

高耐圧を実現するためには、低キャリア濃度層の精密な濃度制御が求められる。

そこで、残留不純物低減のために高純度原料を使用し、装置部材からの不純物混入を減らした。また、キャリア生成に必要な原料供給量の精密制御を行い、特に、キャリア補償の原因となるアクセプタ型不純物濃度を低減した。

pnダイオードの半導体構造部そのものの耐圧は、p層、n層のキャリア濃度、および厚さによって決まる。pnダイオードに高電圧を与えると、pn界面に最も高い電界が発生する。この値が、GaNの降伏電界強度とされる $3.3 \text{ MV/cm}$ を超えないようにデバイス構造を設計した。今回は高耐圧と低オン抵抗を両立させるため、pn界面近傍のn層側のキャリア濃度を一段下げることにした。実際にダイオードを動作させるためには、絶縁膜や電極構造も重要である。プラズマドライエッチングで素子分離を行い、絶縁膜をSOG(Spin on Glass)と $\text{SiO}_2$ の2層構造としてプロセスダメージを抑えた。また、電極で絶縁膜の大部分を覆う

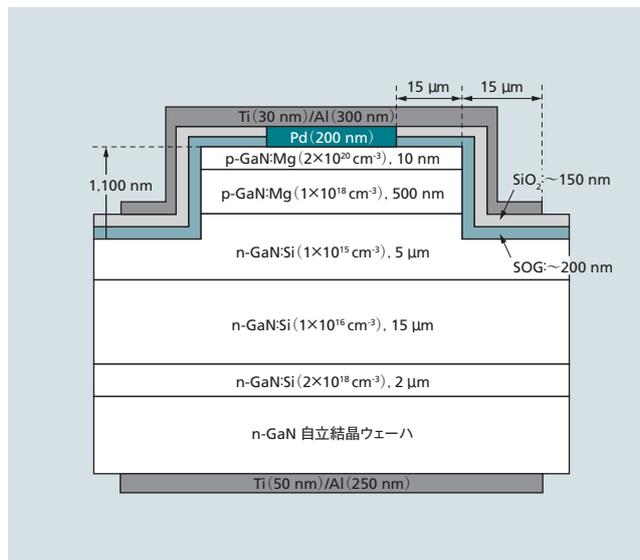


図1 | 試作したpnダイオードの素子構造(断面図)

構造とすることで、電極近傍での電界集中を抑えている<sup>1)</sup>。素子断面構造を図1に示す。

### 3. 試作した縦型Ga<sub>N</sub> pnダイオードの特性<sup>2)</sup>

試作した縦型Ga<sub>N</sub> pnダイオードの順方向の電流-電圧特性を図2に示す。オン抵抗( $R_{on}$ )は4 Vにおいて0.9 mΩ・cm<sup>2</sup>となり、ダイオード構成層の抵抗成分から予想される値よりも小さくなった。これは、通電時の発光により、新たなホールが発生して導電率を低下させる導電率変調によるものと考えられ、この材料系に新たな優位性が見いだされた<sup>3)</sup>。

試作した縦型Ga<sub>N</sub> pnダイオードの逆方向の電流-電圧特性を図3に示す。Ga<sub>N</sub>自立結晶ウェーハ上の縦型pnダイオードの逆方向耐圧として、初めて3 kV耐圧を確認できた。これは今回試作に使用したGa<sub>N</sub>自立結晶ウェーハ

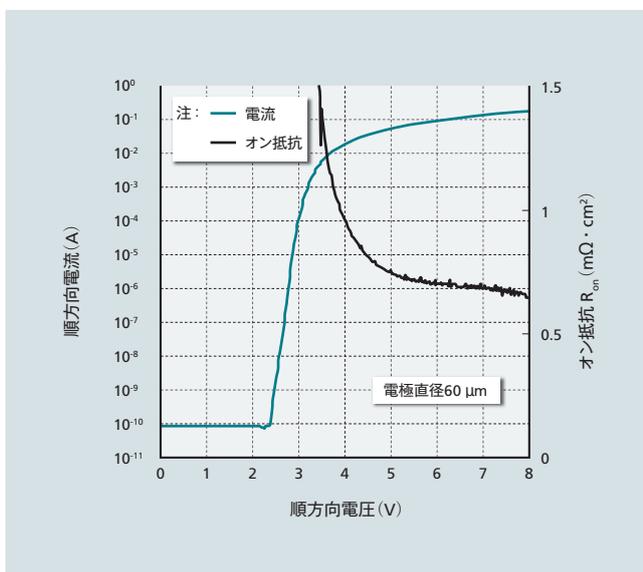


図2 | 試作したpnダイオードの順方向電流-電圧特性

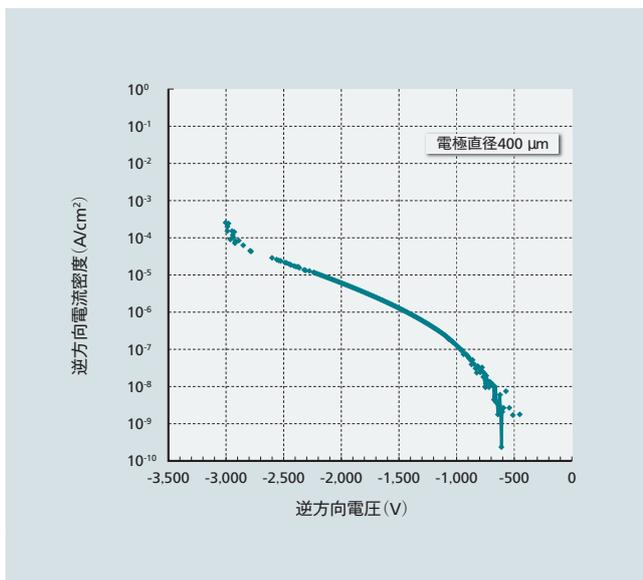


図3 | 試作したpnダイオードの逆方向電流-電圧特性

が、全面にわたって均一で、結晶欠陥が少ないことによるものである。

### 4. 今後の展望

今回の試作で、日立電線製Ga<sub>N</sub>自立結晶ウェーハ上に、高耐圧と低オン抵抗を両立した高効率パワーデバイスを作製し得ることが示された。今後、Ga<sub>N</sub>の材料物性を十分に生かしたオン電圧の低いショットキーダイオードや、高速スイッチング動作可能なトランジスタを提供していくことで、省エネルギーな電力システムの構築に寄与することができる。

#### 参考文献

- 1) 畠山, 外: Ga<sub>N</sub>基板上高耐圧Ga<sub>N</sub> pn接合ダイオード, 電子デバイス研究会, EDD-12-035, 電気学会 (2012.3)
- 2) 畠山, 外: 自立Ga<sub>N</sub>基板上の耐圧3 kV pn接合ダイオード, 第73回応用物理学会学術講演会, 12p-F2-16, 応用物理学会 (2012.9)
- 3) 望月, 外: 小型Ga<sub>N</sub> p+nダイオードのオン抵抗低減機構に関する考察, 電子デバイス研究会, EDD-12-031, 電気学会 (2012.3)

#### 執筆者紹介



##### 金田 直樹

1996年日立電線株式会社入社, 技術研究所 次世代機能部品・材料研究部 所属  
現在, Ga<sub>N</sub>系化合物半導体の開発に従事  
応用物理学会会員



##### 土屋 忠厳

1986年日立電線株式会社入社, 技術研究所 次世代機能部品・材料研究部 所属  
現在, 化合物半導体などの開発に従事  
応用物理学会会員, IEEE会員



##### 三島 友義

1983年日立製作所入社, 日立電線株式会社 技術研究所 次世代機能部品・材料研究部 所属  
現在, 化合物半導体, 新薄膜材料などの研究開発に従事  
工学博士  
応用物理学会会員(フェロー), 電気学会会員, IEEE会員 (Senior Member)



##### 中村 徹

1975年日立製作所入社, 1998年法政大学 理工学部 電気電子工学科 教授  
現在, Ga<sub>N</sub>トランジスタ, SiC, グラフェンなどの研究に従事  
工学博士  
応用物理学会会員, 電気学会会員, IEEE会員 (Fellow)