

新半導体材料・デバイス技術が拓く、快適・安全な未来に向けて

■概要

我々の日常生活において、半導体エレクトロニクスはその重要度を増しつつある。実際、身近に接するほとんどすべての家電において、半導体デバイス回路が組み込まれ、その制御に用いられている。また、一般に広く普及したインターネットに続き、IoTなど高度情報化に対する絶えることのない要求も存在する。そのため、大容量データを高速に伝送する半導体デバイス技術が必要になると同時に、そのエレクトロニクス機器全般における省電力・省エネ化も必須開発事項となっている。これら社会的要求を念頭に、本センターでは、新半導体材料の開拓に取り組み、その優れた材料特性を活かした新機能先端的電子デバイス（トランジスタ、ダイオード）を開発し、近い将来、社会に大きな変革をもたらすことを目標として研究開発を行っている。

上述の理念に基づき、当センターでは、現在新ワイドバンドギャップ半導体酸化ガリウム (Ga_2O_3) を材料とするトランジスタ、ダイオードの研究開発を中心テーマに据えて活動している。第4期中長期計画では、第3期中長期計画にて達成した世界初の Ga_2O_3 トランジスタ実証に代表される成果を受けて、 Ga_2O_3 デバイス実用化に向けた研究開発に注力している。また、パワーデバイス用途だけに留まらず、極限環境と呼ばれる過酷な環境での応用に向けたデバイス開発を本格的にスタートした。これら研究開発においては、NICT内自主研究だけにとどまらず、大学・企業との緊密な連携を積極的に推進している。また、研究開発において生じる特許などの知的財産に関しても、戦略的かつ効率的な取得を目指して活動している。

本年度 Ga_2O_3 パワーデバイス開発においては、耐圧1kVを超えるショットキーバリアダイオードを世界に先駆けて実現した。また、ノーマリーオフ型電界効果トランジスタ (FET) の実証にも成功した。その他、 Ga_2O_3 デバイスの耐放射線性を見定めるために、ガンマ線照射のデバイス特性に対する影響について調べた。

■平成28年度の成果

1. Ga_2O_3 ショットキーバリアダイオード

パワーデバイスとは、主に電力変換、スイッチング用

途に用いられる半導体デバイスの総称である。その用途は、家電の100~200V程度の低耐圧領域から、ハイブリッド・電気自動車などに代表される数百V中耐圧領域、1,000V以上の高耐圧領域と多岐にわたる。現在、我々の Ga_2O_3 パワーデバイス開発は、高耐圧、大電力用途を主なターゲットとしている。いかに、損失を抑えて大電力オン/オフスイッチングを、高効率に行うかが、デバイス性能の良し悪しを測る大きな指標となる。

本年度のショットキーバリアダイオードの開発においては、フィールドプレートと呼ばれる耐圧向上に効果がある構造を Ga_2O_3 ダイオードに初めて採用した (図1)。なお、デバイス作製には、東京農工大学から提供されたハライド気相成長法により作製した Ga_2O_3 エピ基板を用いた。フィールドプレート採用に伴い、必要となったいくつかのデバイスプロセスを新たに開発、もしくは開発済みのプロセスに関しても改善を加えて試作を行った結果、利用電圧の限界値に相当する耐圧を、これまでの500V程度から1,076Vまで、2倍以上増大させることに成功した (図2)。この耐圧値は、トランジスタ、ダイオードを問わず、 Ga_2O_3 デバイスとして世界初の1,000V超えに相当する。

2. ノーマリーオフ Ga_2O_3 トランジスタ

ゲート電極に電圧を印加しない状態においては、ドレインソース電極間に電流が流れず、デバイスとして動作オフ状態に保たれるタイプのトランジスタのことを、

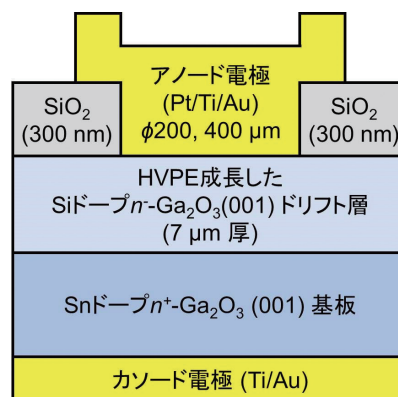


図1 フィールドプレート Ga_2O_3 ショットキーバリアダイオードの断面模式図

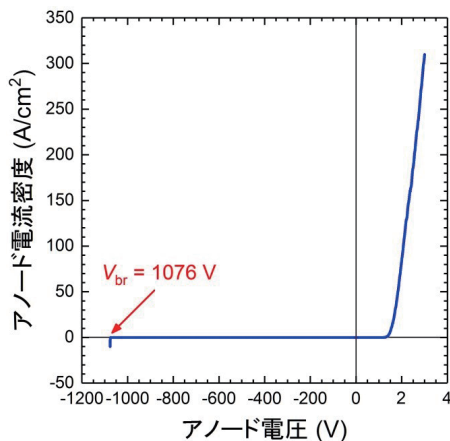


図2 フィールドプレートGa₂O₃ショットキーバリアダイオードの電流-電圧出力特性

ノーマリーオフトランジスタと呼ぶ。このノーマリーオフトランジスタは、何らかの原因で制御端子に相当するゲート部分が破壊されたときに、自然にオフ状態となり電流を遮断することで、その動作を停止するので安全性に優れる。このメリットは、特に大電力を扱うパワーデバイス回路においては重要である。また、故障の際常時オンとなり、機器の暴走をもたらすノーマリーオンデバイスをスイッチング回路に用いる場合には必須となる安全回路を省くことができるため、回路の簡略化、小面積化及び低コスト化にもつながる。パワーデバイス以外の用途に目を移した場合でも、ノーマリーオフトランジスタは、ノーマリーオンと組み合わせることで論理回路を構築することができるため、信号処理にも有用である。これらの要求を踏まえて、本年度ノーマリーオフGa₂O₃トランジスタの開発に取り組み、実現した。

試作したノーマリーオフGa₂O₃トランジスタ構造の断面模式図を図3に示す。このトランジスタ試作には、当センターにて開発した分子線エピタキシー法により成膜したエピ基板を用いた。デバイス特性としては、おおむね良好であった。ゲート電圧0 Vの状態では、ドレイン電圧を掃引しても電流は流れず、ノーマリーオフ動作が実現している(図4)。また、+12 V以上のゲート電圧印加時、その印加電圧に応じてチャンネルが開き、デバイスとしてのオン動作も確認できている。このように、スイッチング動作を可能とするノーマリーオフGa₂O₃トランジスタの開発に成功した。

3. Ga₂O₃トランジスタへのガンマ線照射実験

現在、極限環境エレクトロニクスと呼ばれる、高温・多湿・放射線下に代表される過酷な環境で利用するための、半導体デバイス、論理・無線回路の必要性が増して

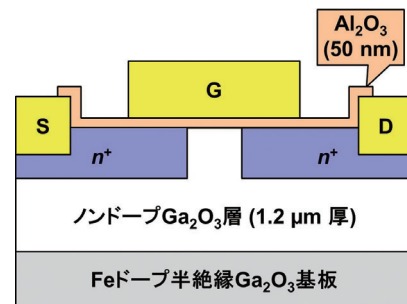


図3 ノーマリーオフGa₂O₃トランジスタの断面模式図

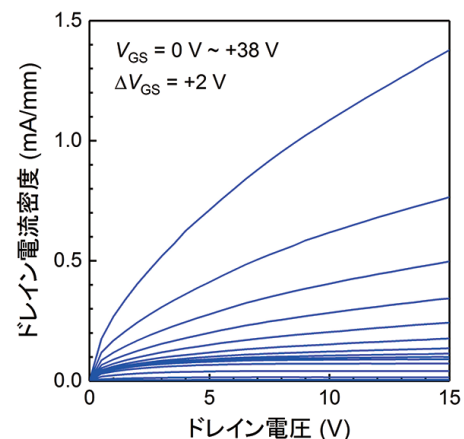


図4 ノーマリーオフGa₂O₃トランジスタの電流-電圧出力特性

いる。それらの多くは、人間が立ち入ることができない環境での作業において、現場の状況を離れた場所でリアルタイムに把握するための各種センサー(カメラ、温度計、放射線量計など)と組み合わせて利用される。比較的身近な応用例として、自動車・航空機のエンジンルームから、未開拓区域に該当する地下資源探査、宇宙空間まで、その用途は多岐にわたる。また、高温・放射線両方への高い耐性が必要な原子力施設や、災害時に活躍するロボットなどからも同様に要求がある。

Ga₂O₃は、その材料特性から、上述のような過酷な環境においても安定かつ特性劣化無く動作し続けることが期待される。本年度、Ga₂O₃デバイスの基礎的な放射線耐性を確認するための実験を、(国研)量子科学技術研究開発機構との共同研究として行った。具体的には、Ga₂O₃トランジスタへのガンマ線照射実験を行い、照射後の様々なデバイス特性における劣化の有無について確認した。その結果、高い線量のガンマ線照射後においても、特性劣化はほとんど認められなかった。わずかに悪化したデバイス特性も、Ga₂O₃自体の劣化に伴うものではなく、ゲート絶縁膜の劣化によるものであった。これらの結果から、Ga₂O₃の有する耐放射線デバイス半導体材料としての高いポテンシャルが確認された。