戦略的創造研究推進事業　ACCEL

研究開発課題

「PSD 法によるフレキシブル窒化物半導体デバイスの開発」

研究開発終了報告書

研究代表者　　　氏名　　　　　藤岡　洋

ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑﾏﾈｰｼﾞｬｰ　氏名　　　　　碓井　彰

1. 研究開発成果

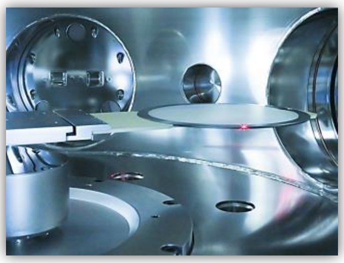
1−1. 実施概要

GaN をはじめとする窒化物半導体の素子は 2014 年のノーベル物理学賞の受賞でよく知られている様に日本で開発され、青色・白色 LED、高速通信用トランジスタ、電力変換パワーデバイスと次々と実用化が進んできた。窒化物半導体の高い電子速度、高い発光効率、真空紫外領域から近赤外をカバーするバンドギャップなどの優れた特徴を考えると、今後益々応用範囲が広がっていくことが予測されている。しかしながら、現在、窒化物デバイスは、有機金属 CVD 法という高温・低スループットのプロセスで量産されており、この問題がさらなる普及への大きな障害となっている。本研究の目的は、PSD(パルススパッタ堆積)法と呼ばれる GaN 系結晶材料の低コスト低温成膜技術を用いて、高性能な窒化物エレクトロニクスを実現することにある。同時に、従来基板として用いられてきた高価な単結晶基板の替わりに低価格なガラス板や金属フォイルを出発材料としてもちいることにより従来の窒化物素子の概念を超えた新しい素子群の創出を目指す。

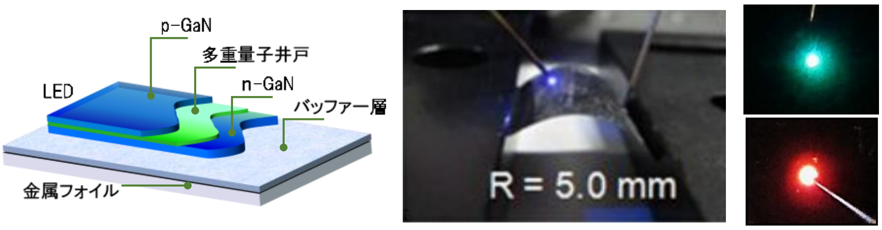
スパッタ法は産業界で広く使われる生産性の高い手法であり、この手法が産業に導入されれば大幅なコストダウンによってフレキシブルマイクロ LED 等、新しい応用分野が拓かれていくものと期待できる。

本プロジェクトの実施内容

具体的な研究開発の内容は、①低コスト・フレキシブル大面積基板上へ高品質 PSD-GaN 系結晶を実現し、実用レベルの GaN 系発光ダイオード(LED)と薄膜トランジスタ(TFT)を実現すること、および、②単結晶基板上で MOCVD(有機金属化学気相成長)法と同品質の PSD-GaN 結晶の実現し、MOCVD 法で作製されたものと同等の性能を持つ GaN 系電子素子を PSD で実現することである。



開発したクラスター型 PSD 装置



フレキシブル基板上に作製した RGB の LED

本プロジェクトの研究成果としてクラスターツール型 PSD 装置を開発し、GaN 単結晶の結晶品質の向上に努めた。その結果、世界最高品質の GaN と同等の室温移動度 1,240 cm^2/Vs を持つ n 型 GaN や室温移動度 34 cm^2/Vs を持つ p 型 GaN を実現した。さらに、GaN の比抵抗として歴史的にも最も低い $1.6x10^{-4}$ Ωcm を実現した。この技術を用いて各種発光素子や電子素子を作製した。ガラス板や金属フォイルなどの安価な基板の上に窒化物半導体を成長する技術の開発を進め、LED や薄膜 TFT 作製プロセス技術の開発を行い、3原色 LED の動作や高性能 TFT 素子の動作を確認した。

2. 社会実装／実用化に向けた取組

2－1. 実施概要

・研究成果の公表等を通して MOCVD、MBE 法と比較して、PSD 法の低温成長、高純度・高速成長、n型およびp型高濃度ドーピング層の形成等で優位性が高いとの認識が高まった。具体的には世界最高品質の GaN と同等の室温移動度 1,240 cm^2/Vs を持つ n 型 GaN や室温移動度 34 cm^2/Vs を持つ p 型 GaN が実現されたことや、GaN の比抵抗値として歴史的にも最も低い $1.6x10^{-4}$ Ωcm が実現されたことが企業の技術者の間で注目を集めた。

・社会実装に向けた活動においても、n 型高濃度ドーピング応用としての低抵抗トンネル接合、コンタクト層応用に関心が高いことがわかり、MOCVD を置き換えるデバイスプロセスとしての可能性を探った。

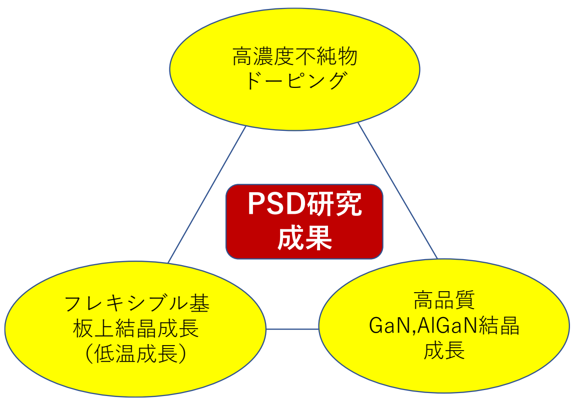
・企業の大口径化に対する関心は高く、大型化に必要な基本的な技術の蓄積、高品質結晶の育成に取り組んだ。その結果大面積装置を開発し PSD 法が本質的にスケールアップに適した手法であり、大面積化を比較的容易に実現できることを確認し、企業技術者の強い関心を引いた。

・PSD 結晶の結晶性、光学的特性、不純物評価において良好な結果が得られたことから、コンタクト層応用ばかりではなく、デバイス駆動部においても PSD 活用の可能性がある。同時に周辺技術の成熟も必要であり、この両面からデバイスの実現を目指していく。

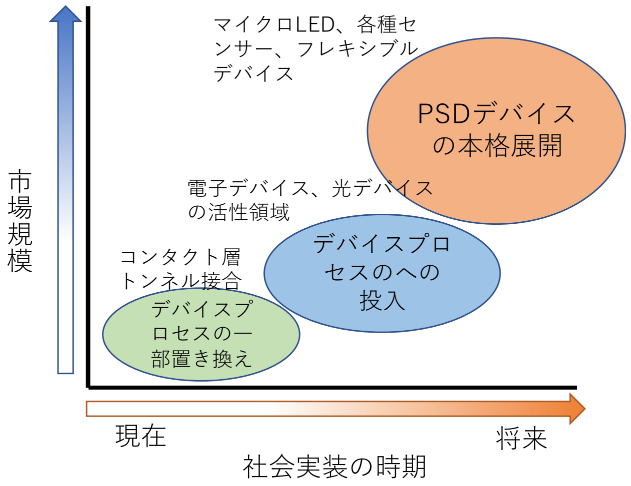
・PSD で n^{++}-GaN トンネルコンタクを形成した結果、市販の UV-A LED に比べ破壊電圧が大幅に改善することを確認した。発光素子の製造コストが大幅に削減できる可能性が高く実用化につなげたい。

・ディスプレイ分野では、LCD や OLED の次ぐマイクロ LED ディスプレイへの関心が高まっている。JST の CREST プロジェクトおよび ACCEL プロジェクトを通じて、PSD により LED をガラス基板や金属フォイル上に作製できることを示しており、この技術に対する関心が高い。 ACCEL の成果を継承してこの分野に貢献していきたい。

・PSD 技術の普及を目指す一般社団法人「パルススパッタ普及協会」を設立した。



ACCEL における研究成果



PSD の社会実装イメージ