

反応性スパッタリングによる $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ の高品質結晶薄膜の作製と発光特性の評価

宮原, 奈乃華

<https://doi.org/10.15017/2534465>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 宮原 奈乃華

論 文 名 : 反応性スパッタリングによる $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ の高品質結晶薄膜の作製と
発光特性の評価

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、世界の情報通信量は 2 年で約 2 倍ずつ増加しており、今後も更なる情報通信量の増加が予測される。さらに国内の総消費電力に占める IT 機器関連の消費電力は約 20% と非常に大きく、消費電力化が必要である。これらに対応するために情報伝達処理速度の高速化と低消費電力化の両立が求められている。

これまでに大規模集積回路(LSI)などのデバイスは、主として微細化により高速化・高性能化を実現してきた。しかし、微細化・高集積化の進展に伴い、LSI 内電気配線における信号遅延・消費電力の増大が課題となっている。

このような背景から LSI 内電気配線の光配線への置き換えが注目されている。光配線の導入にあたり、光配線とトランジスタ間で E (電気信号)/O (光信号)変換を行う必要があり、これに伴う信号遅延や消費電力がボトルネックとなっている。

そこで、現在主流の E/O 変換器の課題である、高速動作化と高集積化のトレードオフを解消する「エキシトントランジスタ」が提案されている。

エキシトントランジスタは、半導体量子井戸内に生成されたエキシトン (クーロン力で緩く束縛された電子-正孔対)をキャリアとする新しい原理の E/O 変換デバイスである。光励起により生成したエキシトン流をゲート電圧によりスイッチングし、ドレイン領域でエキシトンを再結合させることで光信号に変換する。

エキシトンは光との相互作用が速く、LSI 内 E/O 変換において高速動作が実現できる。また、デバイスの小型化も容易であるため、従来の E/O 変換器では不可能であった高速動作化と高集積化の両立が可能である。

しかし、現在動作実証されている GaAs 系材料を用いたエキシトントランジスタは、GaAs のエキシトン束縛エネルギー(電子-正孔対を解離するために必要なエネルギー: 4.3 meV)が室温の熱エネルギー(26 meV)よりも小さく、エキシトン再結合確率が高いため、極低温(<125K)でしか動作しないといった課題があり、実用化の目途は立っていない。

最近、高い励起子束縛エネルギーと低い再結合確率を両立する「ピエゾ電界誘起量子井戸構造」、「 $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ (ZION)」が提案された。

ZION は組成比を制御することでバンドギャップ制御が可能である。また、エキシトン束縛エネルギーが 30-60 meV と高く、高い光吸収係数(10^5 cm^{-1})を示すため、エキシトンデバイスのための有望な半導体材料となっている。

エキシトンデバイス実現のためには高品質な単結晶を格子不整合が少ない基板の上にエピタキシャル成長する必要があるが、ZnO と InN は混和性が低く、熱平衡下で合成不可能であるためすべて

の組成領域において ZION の格子整合基板は存在しない。従って、デバイス応用可能なレベルの高品質薄膜作製は困難である。

本研究では、低コストで大面積基板が入手可能なサファイア基板上への ZION 膜スパッタエピタキシーの実現を目的とした。

本論文は、7 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景およびエキシトントランジスタの実用化に向けた課題を述べ、この問題を解決するための「ピエゾ電界誘起量子井戸構造」, 「 $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ (ZION)」について説明した。

第 2 章では、サファイア基板上へ ZION 膜を作製する際に、低温で作製した高密度 3 次元島 ZION バッファー層を挿入することで、表面平坦 ZION 膜を実現した。

第 3 章では、サファイア基板上 ZION 膜作製時の基板温度が結晶成長初期の核形成に与える影響について述べた、この結果から、サファイア基板上への ZION 膜エピタキシャル成長において、核形成および膜組成の精緻な制御が必要であることを明らかにした。また、世界で初めてサファイア基板上への ZION 膜へテロエピタキシャル成長を実現させた。

第 4 章では、ターゲットおよび気相からの原子・分子フラックス制御により、ZnO テンプレート上の ZION 膜組成を $(\text{ZnO})_{0.73}(\text{InN})_{0.27}$ – $(\text{ZnO})_{0.85}(\text{InN})_{0.15}$ まで制御し、ZION 薄膜エピタキシャル成長が実現できることを明らかにした。

第 5 章では、ZION 膜作製時の成膜位置が、ZION 膜に与える効果を明らかにした。さらに、off-axis 成膜により ZION 膜中の刃状転位密度が約 2 桁減少することを示し、欠陥の少ない $(\text{ZnO})_{0.82}(\text{InN})_{0.18}$ 薄膜のコヒーレント成長を実現させた。

第 6 章では、ZnO テンプレート上の ZION 膜のフォトルミネッセンスを評価した結果を述べた。基板への He-Cd レーザー入射角を変化させた場合のフォトルミネッセンスについて評価を行い、観察されたフォトルミネッセンスが ZION 膜からの発光であることを明らかにした。これらの結果は、ZION がエキシトントランジスタ材料として有望であることを示している。

第 7 章では、本研究によって得られた結論をまとめ、今後の課題について述べた。