

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	窒化物半導体結晶成長の物理化学とプロセス創製
研究機関・部局・職名	東北大学・多元物質科学研究所・教授
氏名	福山 博之

【研究目的】

(1) 研究の背景 なぜ窒化アルミニウム基板が必要なのか？

窒化アルミニウム (AlN) は、高い熱伝導率 (320 W/mK) と大きなバンドギャップ (6.2 eV) を有した半導体材料である。AlN 単結晶を基板として用いれば、格子定数の近い AlGaIn 系発光素子中の結晶欠陥密度を低く抑えることができ、また、AlN 結晶は、200 nm の深紫外領域まで透明であるため、発光した紫外線を吸収することなく、紫外光を効率よく外部へ取り出せる。このように、格子整合性および紫外光透過性の観点から、AlN 単結晶が紫外発光素子用基板材料として最良の基板候補である。紫外発光素子の開発動向を図 1 に示す。図に示すように、紫外発光素子の開発は、バルク AlN 基板から展開するグループとサファイア基板から展開するグループに大別される。AlN 結晶基板は、主に昇華再結晶法で作製されるが、2000 °C 以上の高温が必要で、極めて高価であり、素子の低コスト化や大量生産の観点から不利であるとされる。したがって、低廉なサファイア基板上に高品質 AlN 膜を作製するプロセスあるいはバルク AlN 結晶の代替プロセスの開発が要求されている。



図 1 紫外発光素子分野における最近の動向

(2) 研究期間内に何をどこまで明らかにし、また達成しようとするのか

目標① 高品質 AlN 厚膜 (直径 50mm、厚さ 1 μ m) を作製すること
サファイア窒化法で作製した AlN 薄膜をテンプレートとして他の結晶成長法 (スパッタ法、液相成長法、MOVPE 法、PLD 法など) と組み合わせて、高品質の AlN 厚膜基板を作製することを目的とする。また、その過程で、AlN のホモエピタキシャル成長

機構を解明する。また、最終年度には、この基板上への素子形成も検討したい。

目標② バルク AlN 結晶（直径 25 mm）を作製すること

熱分解輸送法により、自発核形成によって、基板を用いないバルク結晶成長を行なうことによって、結晶内に歪の無い単結晶 AlN を作製する。

【総合評価】

○	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】

① 総合所見

東日本大震災の影響を挽回し、研究は順調に進捗し、当初の目的は達成された。また、新たな共同研究や研究者のコミュニケーションを通じて、研究開発のプラットフォームの構築も視野に入れた活動が行われた。液相成長法を用い、サファイア基板上の AlN 膜の成長技術を確認することができた。また、MOVPE 法とアニール法を組み合わせ、発光素子の短波長化に向けて AlN 結晶品質の向上に成功した。

② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

高品質な AlN 単結晶バルク体を作製する新規のプロセス開発と高温化学熱力学に基づいた解明に関する研究であり、研究目的は明確であった。東日本大震災の影響を挽回し、研究は順調に進捗しており、①液相成長法では、それまで培った熱力学的データを駆使しプロセス改善を実施し、転位や不純物元素の低減法をはかりこれに成功した。他大学との共同研究による MOVPE 法とアニール法を組み合わせ、発光素子の短波長化に向けて AlN 結晶品質の向上に成功した。

高周波誘導加熱方式を採用し、アルミナを原料とするバルク AlN 結晶成長装置を製作した。2173 K の成長温度で SiC 基板上に厚さ 4 μ m 程度の AlN 結晶を成長させることに成功した。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

各種の高品質 AlN の作製膜の分析から、その性能を支配する因子が解明され、さら

にその作製条件の最適化が必要なことが明らかになっており、AlN 膜の結晶成長機構で不純物酸素が果たす役割を提示するなどしており、先進性・優位性がある。

窒素ガス中の微量酸素の結晶成長への影響を解析し国際特許申請を行ったこと、新規スパッタ技術の開発に展開しつつあること、熱処理と組み合わせることで特性が向上することを発見し、知財の申請も進んでいることとブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が上げられた。

バルク AlN 結晶の作製において、Al₂O₃ の熱分解挙動を調べる際に、ZrO₂ を添加すると窒素雰囲気中でも Al₂O₃ の蒸発速度が飛躍的に増大することを見出しており、当初の目的の他に得られた成果が上げられた。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

微量酸素の結晶成長への影響や、AlN 膜の極性制御による品質を向上など、電子デバイス用基板作製分野の進展に新たな切り口を与えたことで、半導体産業はもとより、高温反応のプロセス開発や二酸化炭素排出規模の大きな金属素材産業の CO₂ 削減への多大な貢献が期待され、関連する研究分野への波及効果と社会的・経済的な課題の解決への波及効果が見込まれる。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

研究目的の達成に向けて研究計画は適切に実行されており、研究実施体制は適切に組織され、各年度、研究実施上必要な設備を随時導入されており、指摘事項への対応も適切に実施された。さらに、研究成果の発信は適切に行われ、国民との科学・技術対話についても効果的に実施された。上記のとおり、適切な研究実施マネジメントが実施された。