

# MOVPE 両極性同時成長による AlN 疑似位相整合 結晶作製技術の開発

Development of fabrication of AlN qusai phase matching crystal by using  
MOVPE double polarity selective area growth

## [1] 組織

代表者：岡田 成仁  
(山口大学・創成科学研究科)  
対応者：中野 貴之  
(静岡大学・電子工学研究所)

## [2] 研究経過

目的：

現在用いられている LED よりも短い発光デバイスの実現には、AlGaIn 層を活性層に用いる必要があり、Al の組成を変化させることにより、おおよそ 200~350 nm の範囲の深紫外域で発光するデバイスが実現可能である。ほかにも深紫外 LED の材料として、注目されている一つとして AlN がある。AlN はその物性により深紫外のレーザーダイオードや発光ダイオードなどの発光デバイスに用いられる。これら発光デバイスには Al 極性面が用いられる。

一方で N 極性 AlN を用いた電子デバイスとして、N 極性 Al(Ga)N/AlN 構造を用いた 2 次元電子ガスによる高電子移動度トランジスタや短波長化を目的として AlN の分極反転構造を用いた第 2 高調波を利用したレーザー応用などが期待されている。

本研究室では、N 極性 AlN のデバイス応用を目指しており、本研究では AlN の分極反転構造を目的とし、c 面サファイア基板上に Al 極性 AlN を作製し、その上に N 極性 AlN、Al 極性 AlN の順で成長させた AlN/Al-AlN 構造の作製、および評価を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。これまでは、GaIn の極性反転構造の作製を行い、さらなる短波長第二高調波 (SHG) 発生には AlN が有用であることが明らかになった。そこで、本プロジェクトでは、これまでの成果を踏まえながら、深紫外発光 SHG に関する研究を展開した。

研究計画：

本研究では、AlN の成長方向への極性反転構造を結晶成長させ、疑似位相整合結晶 (QPM) を作製し、

SHG を実現する。これに必要な基礎技術として有機金属化合物気相成長法 (MOVPE) を用いた AlN の両極性反転結晶構造成長があげられる。この技術は極性の異なる AlN を成長中に反転させて成長させる手法であり、結晶成長の途中で +c 面成長から -c 面成長へと成長面を変更することにより実現する。具体的には成長中に成長条件を +c 面成長から -c 面に適した条件へと変更する。そして、得られた結晶は QPM の性能を持っており、光学特性評価およびシミュレーションによる理論的検討を行い、最終的に深紫外 SHG の発現を目指す。

研究活動状況：

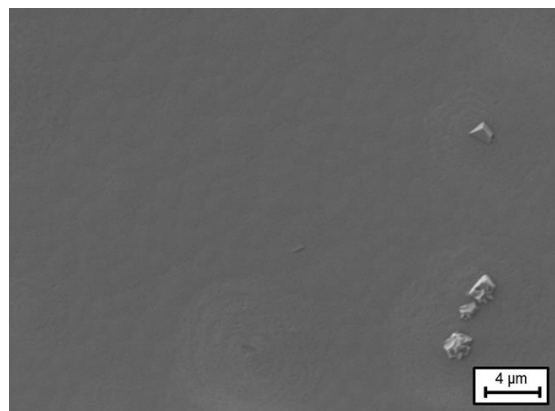
2019 年度は山口大学にて AlN の分極反転構造の結晶成長を結晶成長の方法は有機金属化合物気相成長 (MOVPE) を用いて取り組んだ。様々な結晶成長条件において、分極反転の起こりうる成長条件の検討を行った。その結果の報告として、2019 年 12 月 26~27 日に静岡大学浜松キャンパスにて AlN の分極反転構造の結晶成長に関するディスカッションを行った。

## [3] 成果 (以下 1 0.5 ポイント)

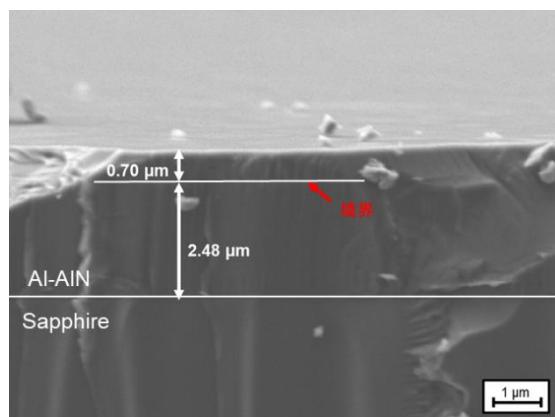
### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。  
まず第 1 に、AlN の分極反転構造には結晶成長条件が非常に重要であることを報告した。特に Al 極性では高 V/III 比の条件が必要であり、N 極性は超低 V/III 比が有用であることを示した。さらに秀でた結果としては、従来 N 極性から Al 極性への結晶反転は報告例があったが、本研究課題では Al 極性から N 極性への反転成長に成功した。図 1 は Al 極性 AlN 上に N 極性 AlN を成長させた場合の表面及び断面 SEM 像である。また、極性判別を行うための KOH エッチング結果を図 2 に示す。N 極性 AlN は KOH によってエッチングされることにより判別でき、図 1(a) から、図 2 へとエッチングが進行していることが分かり、更に Al 極性 AlN でエッチングがストップしているため、N 極性

AlN が Al 極性 AlN 上に成長していることが分かる。これらメカニズムは未だ明らかとなっていないが、本研究結果が新たなデバイスの創出に有用であることを示すことができた。



(a)



(b)

図1 Al 極性 AlN 上 N 極性 AlN 結晶再成長後の(a)表面 SEM 像、(b)断面 SEM 像

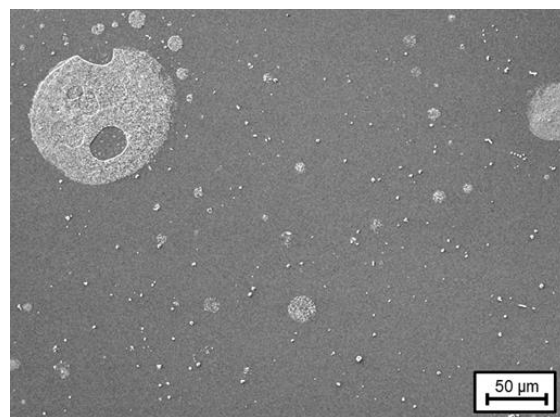


図2 Al 極性 AlN 上 N 極性 AlN 結晶再成長後の KOH エッチングによる極性判定

第2に、分極反転の積層化について取り組んだ。Al 極性/N 極性/Al 極性 AlN の積層化を行い、分極反転構造を周期的に作製できるかどうかを検討した。その結果、N 極性/Al 極性 AlN 上にさらに Al 極性 AlN が成長できることを確認できた。このとき、第1の報告で挙げたように、結晶成長条件のみで制御できることが明らかとなった。しかしながら、表面の平坦性が若干悪くなることも分かり、また基板全面において 100% の分極反転構造とはならないことも明らかとなった。

静岡大学浜松キャンパスにおける中野先生との合わせにおいては、GaN の分極構造反転と今回作製した積層構造の AlN の反転の違いなどを議論し、今後の AlN 成長条件の方向性などについて方針建てを行うことができた。

今後は分極反転構造の成長条件の見直しを中心に、Al 極性/N 極性の反転部の急峻性の評価、完全な分極反転構造、表面平坦性の改善、極性反転メカニズムの解明などを行い、最終的に QPM 構造による SHG を完成させる予定である。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、山口大学—大阪大学—静岡大学の共同研究プロジェクトに発展した。山口大学が作製した AlN の分極反転構造を用いて、大阪大学の片山先生の研究室において SHG によるレーザー発振を実証する予定である。静岡大学中野先生は、分極反転構造の第一人者であり、SHG 構造を GaN において達成され、本研究の遂行の舵取り役となっていた。また、本プロジェクトで明らかになった AlN の分極反転構造の成果は、半導体結晶の分極反転構造において現在注目されている紫外線領域レーザーにおける新しい作製手法として、今後の発展が期待されている。

また、本プロジェクトで明らかになった AlN の分極反転構造の成果は、半導体結晶の分極反転構造において現在注目されている紫外線領域レーザーにおける新しい作製手法として、今後の発展が期待されている。

### [1] 成果資料 (以下10.5ポイント)

1. 齊藤貴大, 金輝俊, 岡田成仁, 只友一行「AlN テンプレート上 AlN の再成長における極性反転」日本結晶成長学会ナノエピ分科会「第11回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会」, Th-P17, 2019.6.13-15, 広島大学 東広島キャンパス 学生会館レセプションホール, 広島県
2. 中村亮太, 齊藤貴大, 金輝俊, 岡田成仁, 只友一行「AlN テンプレート上 AlN の再成長における極性反転」2019年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会, Ia-5, 2019.7.21, 高知工科大学香美キャンパス, 高知県

## 出張報告

氏名：岡田 成仁

所属：山口大学・創成科学研究科

期間：2019年12月26～27日

用務先：静岡大学浜松キャンパス

用務内容：AINの分極反転構造の結晶成長に関するディスカッション

主たる対応者：中野 貴之先生