

MOVPE 両極性同時成長による GaN 疑似位相整合結晶 作製技術の開発

[1] 組織

代表者：中野 貴之

(静岡大学大学院工学領域電子物質系列)

対応者：伊藤 哲

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

本田 喜央 (名古屋大学未来材料・システム研究所)

片山 竜二 (大阪大学大学院工学研究科)

谷川 智之 (東北大学金属材料研究所)

村上 尚 (東京農工大学大学院工学研究科)

岡田成仁 (山口大学大学院創成科学研究科)

科)

[2] 研究経過

次世代情報記録メディアなどへの応用に向けた短波長レーザの母体材料として、我々は GaN 系窒化物材料に着目している。ウルツ鉱型結晶構造を有する GaN 結晶は c 軸方向に対し反転対称性を持たないため、Ga 極性面と N 極性面という異なる極性面が存在する。この 2 つの極性面は分極方向が相反するため、各極性面を周期的に配向することで GaN 周期分極反転構造が達成される。加えて、GaN 系窒化物は紫外(UV)領域を含む広い透過波長範囲を有する。したがって、これらの特徴を利用することで、深紫外(DUV)を含む UV 領域の第二高調波発生(SHG)を高効率化する疑似位相整合(QPM)結晶の作製が可能である。

GaN-QPM結晶の作製方法については他の研究機関においても報告がなされているが、我々はカーボンマスクを用いた有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法による両極性同時成長を提案している。これまでの広ピッチパターン($\sim 120 \mu\text{m}$)を用いた基礎的な成長技術の検討により、カーボンマスクを用いた基板処理の影響や各極性領域における成長速度の違いなどを明らかにしてきた^[1,2]。しかしながら、高効率なUV-SHGデバイス作製には狭ピッチパターン(2~4 μm)を用いたGaN-QPM結晶が必要となる。そこで、これまでの成長技術の知見を基にGaN周期分極反転構造の狭ピッチ化を行った。本研究で

は、VIII比制御をはじめとした成長条件の検討や各プロセスの最適化を行うことで、周期間隔を狭めた場合の表面反応メカニズムの解明や、狭ピッチQPM結晶の作製を試みた。

以下、研究活動状況の概要を示す。

研究会 (12月20日)

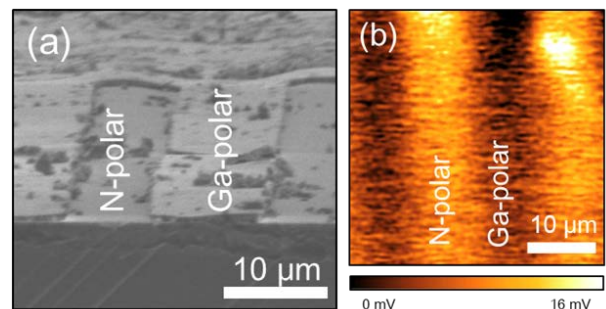
研究打ち合わせ (9月5日、11月14日、他学会期間中)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

はじめに、10 μm 、20 μm 、40 μm ピッチの異なる周期間隔のカーボンマスクを形成し GaN 両極性同時成長を行った。作製した両極性 GaN の極性判別には KOH エッチングおよび KFM 測定を用いた。Fig. 1 に 20 μm ピッチのカーボンパターンを用いて作製した両極性 GaN のエッチング後の鳥瞰 SEM 像と KFM 像を示す。Fig. 1(a) より、試料表面の周期的な溶解浸食が確認された。これは各極性のエッチング耐性の違いに起因する。また Fig. 1(b) より、周期構造に由来する表面電位差が確認された。これは、各極性表面のピエゾ効果によるバンドベンディングに起因するものである。狭ピッチ両極性 GaN

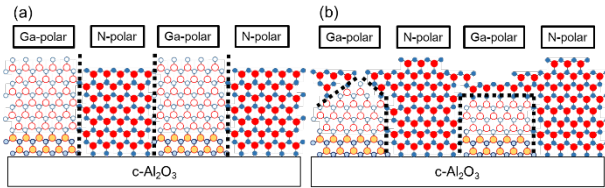


の表面電位差は 15 mV とこれまでに作製した広ピッチ両極性 GaN と比べて小さい値であった。

Fig. 1. DP-GaN fabricated using a narrow-pitch pattern of 20 μm . (a) SEM image of the sample after KOH etching. (b) KFM image (40 $\mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$) of the sample.

そこで、これまでの結果をもとに狭ピッチ化した場合の成長様式について考察を行った。Fig. 2(a) に、Ga 極性 GaN ファセットに N 極性 GaN が沿うよう

に成長する理想的な成長様式イメージを示す。しかしながら、狭ピッチ両極性 GaN においては、両極性同時成長の初期段階にて、N 極性 GaN の横方向成長が Ga 極性領域を覆い成長の阻害となっていることが考えられる。これにより、Ga 極性領域の最表面は N 極性 GaN に完全に覆われた状態、もしくは各極性が混在している状態であると予想される。一般的に、表面状態が同じである場合、KFM 測定にて表面電位差は存在しない。しかしながら、本プロセスにおいては、N 極性 GaN に覆われた Ga 極



性領域の地下層に結晶性の高い Ga 極性初期層が存在する。そのため、各領域における残留キャリア濃度の違いが 10~15 mV 程度の微小な表面電位差を生じ KFM 測定にて観察されたものと考えられる。

Fig. 2. Schematic showing the (a) expected and (b) actual growth of DP-GaN using narrow pitch pattern.

このモデルを検証するために、各極領域における GaN 層膜厚の成長時間変化を評価した(Fig. 3)。両極性同時成長直後(成長時間:0分)では、Ga 極性の GaN 初期層のみの堆積を確認した。成長時間10分では、N 極性 GaN が連続膜となり、各極性の GaN が成長していることが確認された。成長時間20分では、N 極性 GaN が Ga 極性 GaN よりも厚いことが確認された。これは、連続膜形成後において N 極性 GaN の成長レートが Ga 極性 GaN の成長レートよりも高いことを示唆している。このような成長レートの違いに起因して、両極性同時成長40分時点において、N 極性 GaN の高い成長レートに起因した横方向成長により Ga 極性領域が覆われた。したがって、各極性の成長レートを制御することが必要であることが示唆された。

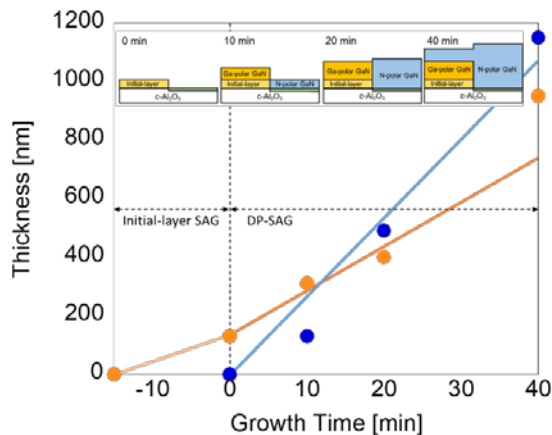
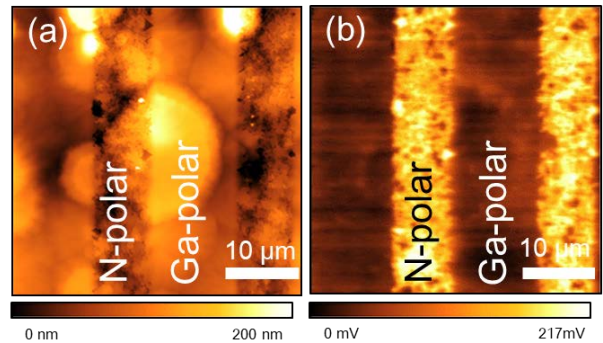


Fig. 3. Thickness of the GaN film as a function of growth time.

各極性の成長レートは V/III 比に大きく依存することがこれまでの検討で確認されている。Fig. 4 には、両極性同時成長時における V/III 比を 14800 から 11300 に変化させ作製した両極性 GaN の AFM 像(Fig. 4(a))および KFM 像(Fig. 4(b))を示す。AFM 測定より、Ga 極性 GaN は N 極性 GaN に比べて高くなっており、界面も明瞭であった。これは、低 V/III 比条件により Ga 極性 GaN の成長が促進され、相対的に N 極性 GaN の成長レートが低下したためである。また、KFM 測定では、約 100 mV の表面電位差が確認された。この値はこれまでに作製された広ピッチ両極性 GaN の KFM 測定結果と同程度



である。したがって、これらの結果は、成長条件を最適化することによって、急峻なヘテロ界面を有する GaN-QPM 結晶の作製を実現したことを示す。

Fig. 4. DP-GaN fabricated using optimized growth conditions: (a) AFM image for 20- μm pitch (40 \times 40 μm) and (b) KFM image for 20- μm pitch (40 \times 40 μm).

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、III 族窒化物半導体分野の若手研究者が交互に交流をする機会にもなっており、研究の応用展開などに向けて議論が深まっている。今年度の研究に関しても、昨年までのプロジェクト成果を展開した結果、新しい研究領域の開拓につながっており、今後の更なる発展が期待される。

[4] 成果資料

国際会議発表

[1] H. Yagi, N. Osumi, Y. Inoue, T. Nakano, "Narrow pitch pattern process at GaN double polarity selective area growth using MOVPE", The 12th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-12), Strasbourg, France, July 24-28 (2017), A1.42

国内学会発表

[3] 八木裕隆, 大隅紀之, 井上翼, 中野貴之, "GaN 両極性同時 MOVPE 法を用いた狭ピッチ QPM 結晶の作製", 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 8a-A301-11, 福岡国際会議場, 2017 年 9 月 5-8 日

出張報告

氏名：村上 尚
所属：東京農工大学 大学院工学研究院
期間：H29/12/20-21
用務先：静岡大学
用務内容：研究発表会および研究打合せ
主たる対応者：中野貴之

氏名：岡田 成仁
所属：山口大学大学院創成科学研究科
期間：H29/12/20-21
用務先：静岡大学
用務内容：研究発表会および研究打合せ
主たる対応者：中野貴之

氏名：片山 竜二
所属：大阪大学大学院工学研究科
期間：H29/12/20-21
用務先：静岡大学
用務内容：研究発表会および研究打合せ
主たる対応者：中野貴之

氏名：谷川 智之
所属：東北大学金属材料研究所
期間：H29/12/20-21
用務先：静岡大学
用務内容：研究発表会および研究打合せ
主たる対応者：中野貴之