

課題番号 P-4

紫外線イメージングセンサーの開発

[1] 組織

代表者：中野 貴之

(静岡大学工学部電気電子工学科)

対応者：青木 徹

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

山川 俊貴(静岡大学工学部電気電子工学科)

朝間 淳一(静岡大学工学部機械工学科)

[2] 研究経過

紫外線イメージングセンサーの研究開発は不可視光の可視化技術として需要が高まっており、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、紫外線イメージングセンサーデバイスとして期待される GaN 光電面デバイスのプロセス開発として、GaN 結晶成長技術における極性反転結晶成長技術の開発および結晶成長メカニズムの解析を目的として行った。

本プロジェクトは、本年度が2年目であった。これまでの我々の研究では、紫外線イメージングセンサーの開発において GaN 光電面が十分な量子効率を持ち、透過型光電面としても用いることが可能であり、イメージングセンサーへの活用が可能であることを示してきた。しかしながら、GaN 光電面の作製プロセスにおいては UV ガラス基板との張り合わせ後に裏面からのエッチング工程による極薄膜の作製プロセスが必要であり、この工程によって作製される光電面の膜厚や均一性によって量子効果が大きく異なってくる。GaN 光電面の膜厚における制御性や均一性を得るためにウェットエッチングによるエッチストップ層の導入が望まれている。GaN はウルツ鉱型結晶構造を持つため、c 軸方向に非対称であり、化学的な安定な Ga 極性面と KOH 溶液によるウェットエッチングが可能な N 極性面が存在する。我々はこの極性構造に着目し、極性を結晶成長中に反転させ Ga 極性 GaN 上に N 極性 GaN を結晶成長させた極性反転構造を作製することによって、極性が反転した領域で KOH 溶液によるエッチストップを行い GaN 光電面プロセスに利用することを考えた。GaN 結晶成長中において極性を反転させる技術は分子線エピタキシー(MBE)法において Mg 原子の表面吸着層を形成することによって極性反転構造の作製を実現されている。しかしながら、有機金属

気相エピタキシー(MOVPE)法においては極性反転結晶成長技術については報告例がなく、我々の研究により高 Mg ドープ層を 100nm 程度積層することによって極性反転構造を作製することを実現していた。昨年度の本プロジェクトの研究により極性反転層の膜厚をさらに薄膜化し 20nm としている。

本プロジェクトでは、現在の極性反転結晶成長技術では極性反転領域の制御が不十分であり、更に制御性を高める必要があるため、極性反転結晶成長メカニズムの解明および成長モデルの提案と実践を行った。

以下に研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせ：随時(共同研究者が同一キャンパスに在籍しているため)

研究討論会：4回(7/27、10/19、11/30、1/18)

[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。

最初に、これまでの研究結果を補完する形で Mg ドープによる極性反転が起こる領域を詳細に調べた。結果を図1に示す。図1を見ると Mg ドープ量が増加することによって極性反転が起こることがわかる。

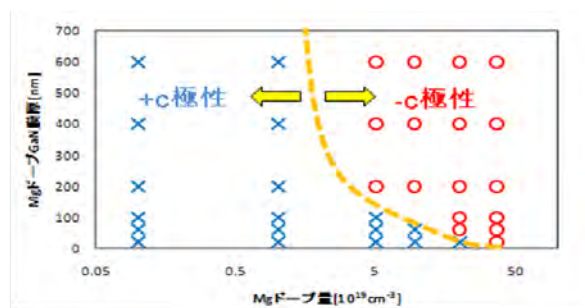


図1、Mgドープ量とMgドープ膜厚による極性反転現象の発現の各依存性

更に膜厚に関しても依存性が存在しており、膜厚を厚くすると極性反転が起こりやすくなることが確認できる。しかしながら通常の結晶成長モデルでの極性反転を考えた場合、表面吸着した Mg 原子が表面拡散して結晶化すると考えられるため Mg ドープ層膜厚に依存するのは矛盾が生じる。そこで Mg ドープ量と Mg ドープ層膜厚の両方に依存する極性反転結晶成長モデルとして Mg 表面偏析が影響しているといったモデルを提案した。提案した Mg 偏析モデルは

・Mg は表面偏析しており、偏析量は Mg 供給を行うことによって増加し、十分な偏析が起こると飽和する。

・GaN の極性反転は Mg の表面偏析量がある一定量以上になった場合に発現する。

といったモデルである。このモデルでは、Mg 供給量依存性と Mg ドープ層膜厚依存性も説明が可能である。供給量と成長時間が短い場合には偏析層が十分に形成されないために極性反転が起こらないが、成長時間や供給量が増加することによって極性反転が発現するといった現象が説明できるため図 1 に示す極性反転発現領域の説明が可能である。そこでこのモデルを実証するためにパルス供給による極性反転の検証を行った。通常では極性反転が起こらない条件の供給を繰り返すことによって極性反転の発現を確認することによってモデルの検証を行った。具体的な検証モデルは図 2 に示す。

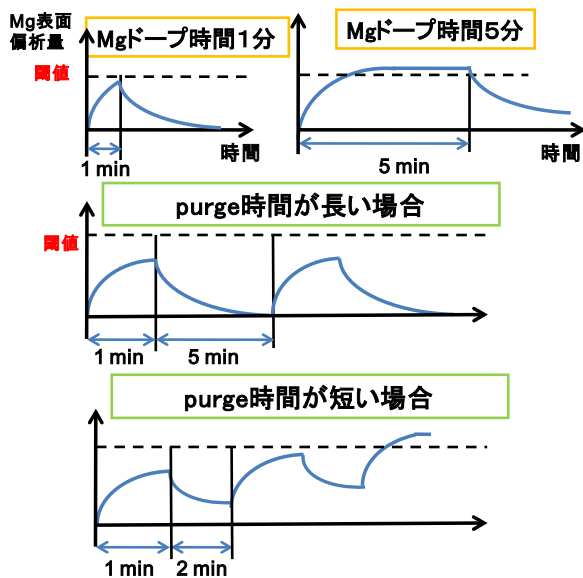


図2、Mg偏析モデルでのMgドーププロセスにおける表面偏析層の時間変化のイメージ図

$1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ のドープ量では 1 分間の供給時間では極性反転が起こらず、5 分間の供給で極性反転が発現する。1 分をパルスのように 5 回繰り返すことによって極性反転の発現を検証した。またパルス間におけるMg供給を行っていない状態の時間(パージ時間)を変化させることによりパージ時間中でのMg偏析量が減少による極性反転の発現抑制を調べた。この検証実験の結果が図 3 である。パージ時間を短く設定した場合には極性反転が発現しており、パージ時間が短い場合には極性反転が発現していないことから提案した偏析モデルは妥当であることが確認できた。

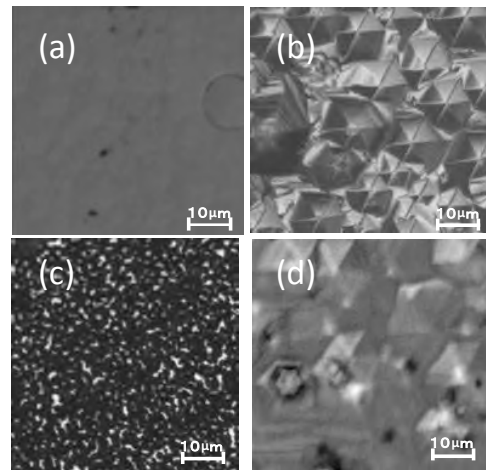


図3、各Mg供給プロセスで成長したGaN表面顕微鏡像;(a)Mgドープ:1min, (b)Mgドープ:5min, (c){Mgドープ:1min+パージ:5分}×5回, (d){Mgドープ:1min+パージ:2分}×5回

更に、表面偏析層が極性反転の発現に大きく寄与していることから、ガス供給シーケンスにおいて積極的に表面偏析を起こして極性反転を発現させるために図 4 に示すようなシーケンスを用いた。

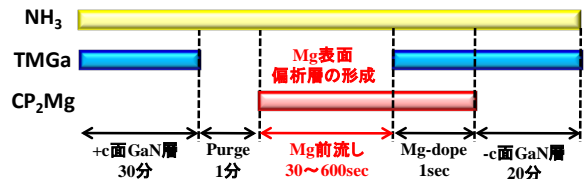


図4、Mg前流し供給による極性反転作製のガスシーケンス

このシーケンスにおいて、Mg ドープ時間を詳細に解析したところ Mg 供給時におけるパイロメーターの示す値は図 5 のように変化した。領域として三段階にわかれており、おそらく Mg 表面吸着、Mg 偏析層形成、Mg 偏析層飽和状態の 3 段階だと考えられる。実際に各領域における時間を Mg 供給時間に設定して極性反転結晶成長を試みたところ偏析層飽和状態の領域において極性反転が発現した。十分な Mg 供給により偏析層が形成され極性反転が起こったものと考えられる。

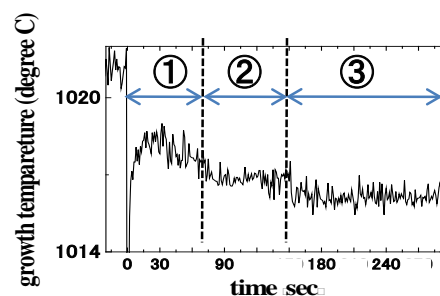


図5、赤外放射温度計によるMg供給開始後の表面温度変化

これらの結果より Mg 偏析層を形成することによって極性反転を任意の領域で作製することが可能となり、Mg ドーププロセスを用いた光電面作製プロセスにおいて新しい可能性を示唆する結果となった。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、紫外線イメージングセンサーの開発として、GaN 透過型光電面作製における極性反転結晶成長技術の開発を行ってきた。Mg ドーププロセスを用いた極性反転結晶成長メカニズムについて詳細な検討を行った結果、Mg 偏析層の存在が供給量や供給時間に依存しており、ある一定量を越した際に極性反転が発現するといった事象を明らかにした。今後、紫外線透過型イメージングセンサーへの応用が期待され、更なる発展が望まれている。

本研究結果は GaN などのⅢ族窒化物半導体結晶成長技術における新しい試みであり、Ⅲ族窒化物を用いた新規光機能デバイスへの発展が期待される成果を得た。また、Ⅲ族窒化物におけるサーファクタントの概念などは結晶成長技術への応用展開が幅広く考えられるため、本プロジェクトで得た知見から様々なⅢ族窒化物を用いた研究分野への展開が期待される。

本プロジェクトにおいて、多様な分野の研究者と

の交流が実現し、アウトソーシングを見据えた研究開発に展開している。また、技術的な交流を深めることにより他の研究プロジェクトへも展開がなされており極限画像技術の一つである中性子検出器に関する研究を開始しており、本プロジェクトを発端とした別プロジェクトの発足にも至っている。

[4] 成果資料

学会発表

- (1) T. Nakano, *et al.*, ICNS-9, Glasgow, Scotland, 10 - 15 July, 2011, PB2.40
- (2) T. Nakano, *et al.*, iA2011, Sucevita, Romania, 26-29 September, 2011, O5.1
- (3) 館毅、他；第 72 回応用物理学会学術講演会、31p-ZE-8、山形大学、2010 年 8 月 29-9 月 1 日
- (4) T. Nakano, *et al.*, SPO 2011, Kyiv, Ukraine, 27-30 October, 2011, I-1
- (5) 館毅、他、第 3 回窒化物半導体結晶成長講演会、P2-3、九州大学筑紫キャンパス、2011 年 6 月 18 日

出張報告

共同研究者は静岡大学浜松キャンパスに在籍しているため、出張扱いでの研究打ち合わせは特になし。