

2023年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」 調査研究報告書(公開版)

【研究題目】 正ベベル終端構造を持つ GaN ダイオード試作

【整理番号】 TK23-001

【代表機関】 NIMS

【調査研究代表者(氏名)】

大島 孝仁

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】

筑波大学：Traore Aboulaye

【TIA 外連携機関】

佐賀大学

【報告書作成者】

大島 孝仁

【報告書作成年月日】

2024年3月27日

【連携推進(具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等)】

本課題は、筑波大学と佐賀大学との連携プログラムである。筑波大学とは、実際のデバイス試作が行われた場合の評価手法について議論を行った。一方、佐賀大学とは、GaN ショットキーダイオードベベル終端について、逆テーパ形状に依存した電界強度分布や電流密度依存性を、デバイスシミュレータを利用して評価いただいた(図1)。本プロジェクト期間中では、実際のデバイス試作にまで至らなかったが、これらの議論は今後の試作、評価を行う上で重要な知見となった。

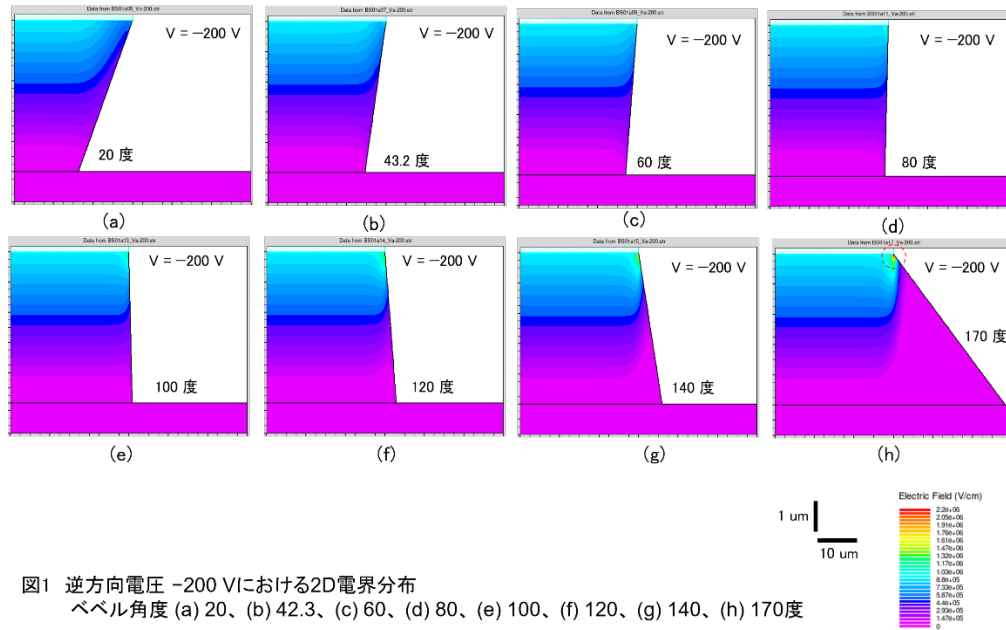


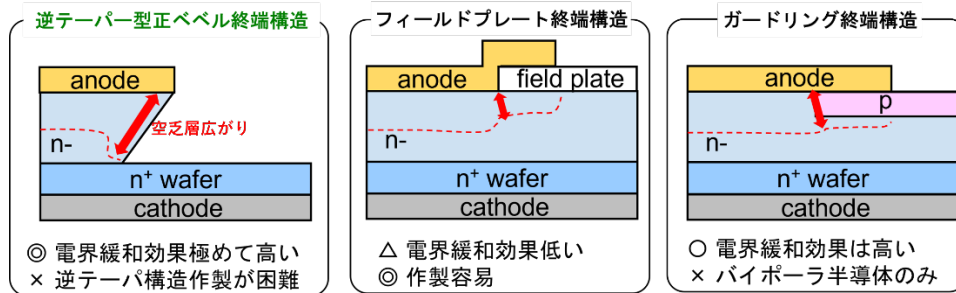
図1 逆方向電圧 -200 Vにおける2D電界分布
ベベル角度 (a) 20、(b) 42.3、(c) 60、(d) 80、(e) 100、(f) 120、(g) 140、(h) 170度

さらに、GaNのドライエッチングで逆テーパ形状を形成した経験のある山口大学 岡田先生を招聘し、「窒化ガリウム逆テーパ形成に関するセミナー(2/20 NIMS 開催)」を開催した。岡田先生の方法は、エッチング耐性の極めて高いサファイア基板でしか応用できないが、GaN結晶に対するドライエッチングを深く理解することができた。発表後には、構造形成における新しいアイデアについてディスカッションも行き、非常に有意義であった。

【調査研究内容（研究背景・課題解決の内容と結果）】

・研究背景

カーボンニュートラルや循環型社会を実現するために、半導体分野では特にパワー半導体素子の電力変換効率向上が求められている。その素子研究開発の一つの方向性として、高耐圧化が挙げられる。接合デバイスの耐圧向上には、素子端部の電界集中を緩和する図2に示すような終端構造が必要である。これらの終端構造の中でも逆テーパ形状の正ベベル終端は、電界緩和効果が高く理想的である。しかしながら、その形状作製が困難であると見なされており、実際に実用化されたことはない。



注：ショットキーバリアダイオードを想定

図2 代表的な終端構造

そこで、本研究では、GaNパワー半導体に対して、縦型デバイスに適用可能な逆テーパ型正ベベル終端構造の作製を目標として、調査研究（試行実験）を行った。

・課題解決の内容と結果

はじめに、研究計画で提案した図3に示す選択成長とアンダーカットウェットエッチングを組み合わせた手法を試みた。この方法のポイントは、横方向成長後にマスクを除去し、エッチングに脆弱な-c面を剥き出しにして下方からGaNエッチングし、エッチング耐性のある逆テーパ面、{10-1-2}または{10-1-1}を露出することにある。なお、+c面とm面は極めてエッチング耐性が高い。この方法の、前提として、+c面とm面で囲まれた六角柱上の選択成長結晶を得る必要がある。

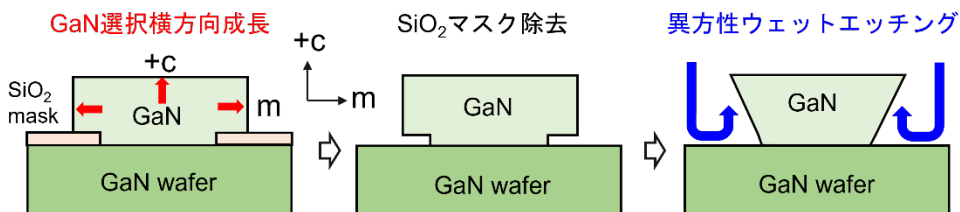


図3 選択成長を利用した逆テーパ形成手法

我々は、MOCVD と HVPE で選択成長した、しかし、c 面の他、m 面ではなく {10-11} 面で囲まれる六角錐形状が現れた。m 面を得るために、成長パラメーターを変化させたが、{10-11} 面で周囲が覆われる状況を覆うことができなかった。なお、文献等では、MOCVD で NH_3 を間欠的に供給すれば、m 面で周囲が覆われた六角柱が得られることが報告されていたため [Appl. Phys. Lett. 77, 2343 (2000).]、さらに条件探索を行うことで実現できた可能性がある。しかし、本単年度プロジェクトでは、c 面と {10-11} 面で囲まれた状態で、ウェットエッチングを試みた。結果、図 4 に示すように、狙った通り結晶下部に逆テーパ形状は形成できた。一方、側面の {10-11} 面はエッチングにより荒れた。そこで、選択成長に頼らない方法を次に試すことにした。

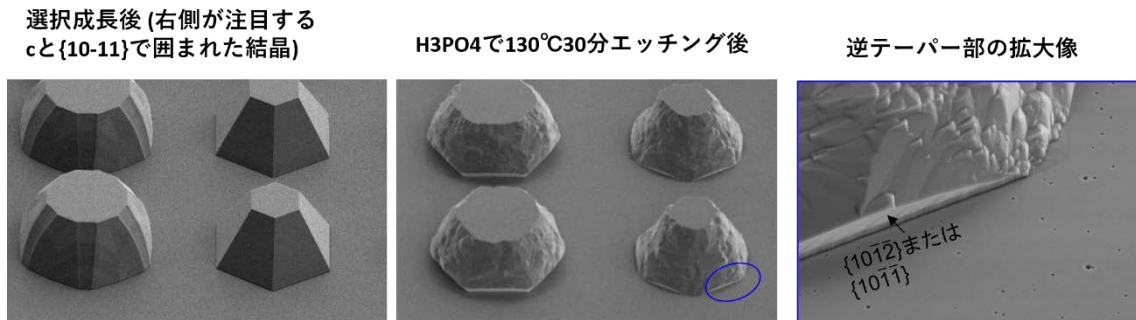


図4 選択成長結晶とそのエッチング後

新しい方法では、図 5 のようにドライエッチングとアンダーカットウェットエッチングを組み合わせた手法である。この方法のポイントは、犠牲層が GaN と格子整合された AlInN (In 組成 17%) である点である。AlInN は、GaN よりもエッチングされやすく、サイドエッチングされると速やかに上方の GaN が -c 裏面からエッチングされ、逆テーパの安定面が現れる。なお、AlInN はドーピングにより、低抵抗化でき素子の縦方向の直列抵抗への影響は軽微であるため [J. Vac. Sci. Technol. B 38, 052205 (2020).]、縦型デバイスも想定できる。

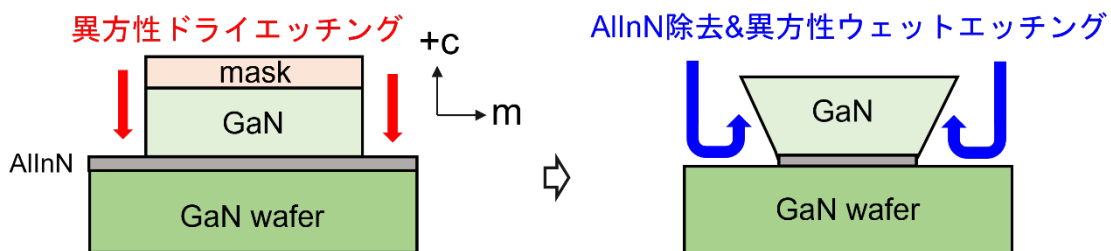


図5 AlInN犠牲層を利用した逆テーパ形成手法

図 6 は、ストライプに対する異なる温度におけるウェットエッチング後の構造像である。135°C のウェットエッチングでは、+c 面、m 面の他僅かに逆テーパ領域が下部に見えている。一方、155°C のより強いエッチングでは、逆テーパ領域が増大し、m 面ではなく、逆テーパ面によって側面が覆われ、逆テーパ形状を形成するという第一段階の達成された。しかし、テーパ面に突起がいくつか見られているが荒れているため、ウェットエッチング条件を最適化する必要があると考えられる。

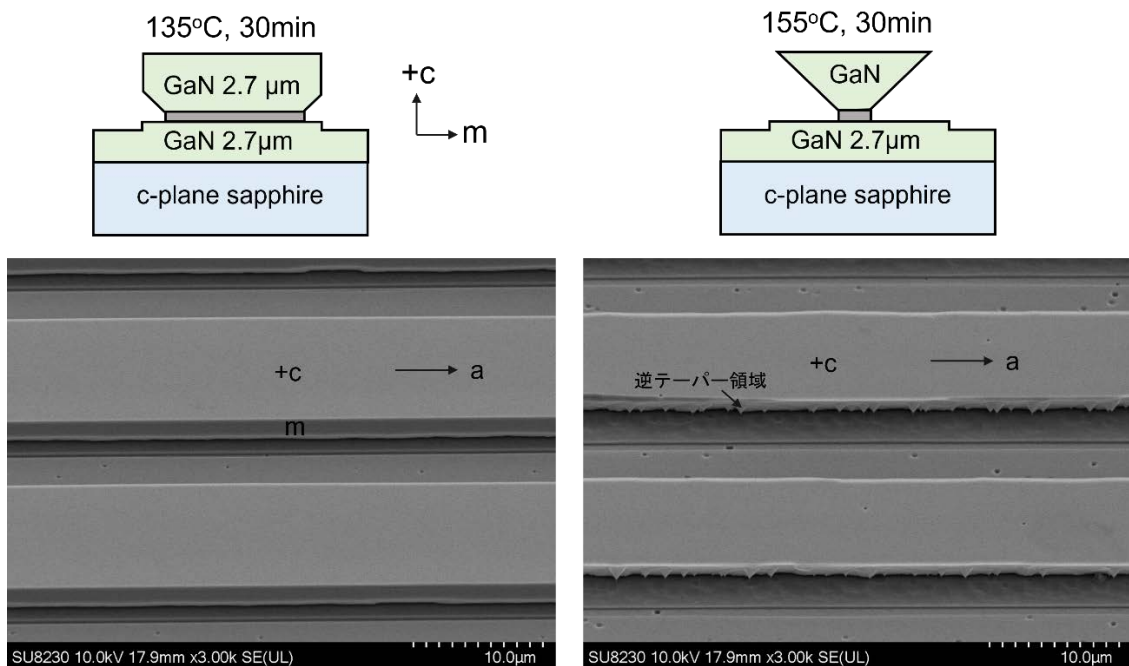


図6 AlInNを犠牲層とする逆テーパ形成手法で形成した構造

・ 主な学会活動

大島孝仁, 井村将隆, 大島祐一, 大石敏之

“GaN正ベベル終端形成のための選択成長結晶に対する逆テーパエッチングの提案”
第71回応用物理学会春季学術講演会, 東京都市大学 (2024年3月23日)

【今後の活動予定】

本調査研究で、GaN逆テーパ構造形成が現実的な手法で可能であると示すことができた。そこで、今後は、エッチング条件の最適化を行い、滑らかな端面を持つデバイス試作に適した逆テーパ構造を形成する。そして、本枠組みのチームで、正ベベル終端ダイオードを試作、特性評価を行う。その後、企業連携を模索、または外部プロジェクトに応募し、高額なGaN基板を用いて実際の応用を目指した開発を進める。

【SDGs17 目標について、調査研究成果について、貢献ができると思われる項目があれば、最大3つまで☑をご記載下さい。】

研究成果に関連する SDGs 目標がある。

関連する SDGs 目標は無い

1 <input type="checkbox"/> 貧困をなくそう	2 <input type="checkbox"/> 飢餓をゼロに
3 <input type="checkbox"/> すべての人に健康と福祉	4 <input type="checkbox"/> 質の高い教育をみんなに
5 <input type="checkbox"/> ジェンダー平等を実現しよう	6 <input type="checkbox"/> 安全な水とトイレを世界中に
7 <input type="checkbox"/> エネルギーをみんなに、そしてクリーンに	8 <input type="checkbox"/> 働きがいも経済成長も
9 <input checked="" type="checkbox"/> 産業と技術革新の基盤を作ろう	10 <input type="checkbox"/> 人や国の不平等をなくそう
11 <input type="checkbox"/> 住み続けられるまちづくりを	12 <input type="checkbox"/> つくる責任、つかう責任
13 <input type="checkbox"/> 気候変動に具体的な対策を	14 <input type="checkbox"/> 海の豊かさを守ろう
15 <input type="checkbox"/> 陸の豊かさを守ろう	16 <input type="checkbox"/> 平和と公正をすべての人に
17 <input type="checkbox"/> パートナリーシップで目標を達成しよう	

以上