キャリア寿命分布評価を利用した

GaN 縦型バイポーラデバイスの高性能化

所属: 名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻 助成対象者:加藤正史 共同研究者:田中 敦之

概要

GaN 縦型パワーデバイスの基礎的な構造である GaN 縦型 PiN ダイオードにキャ リア寿命分布評価技術を適用し、PiN ダイオード内部のキャリア寿命の分布を 得た。その結果、GaN 基板とエピ成長界面におけるキャリア寿命の局所的低下 を確認した。エレクトロルミネッセンス分布との比較により、キャリア寿命の 低下は発光する欠陥によるものということがわかった。この欠陥の候補として 最も可能性の高いものは、エピ成長初期に偏析した Si 不純物だと考えられる。 したがって、Si の偏析を防ぐことが GaN デバイス内部のキャリア寿命分布を均 一にし、デバイス性能の向上に繋がるということが示唆された。

abstract

In this study, distribution of carrier lifetime in a GaN vertical PiN diode, which is the basic structure of GaN vertical power devices, was observed. We confirmed a local decrease in carrier lifetime at the interface between the GaN substrate and the epitaxial layer. By comparison with the electroluminescence distribution, it was found that the decrease in carrier lifetime was due to defects that emitted light. The most probable candidate for this defect is Si impurities segregated at the initial stage of epilayer growth. Therefore, preventing segregation of Si leads to uniform carrier life distribution and improvement of device performance. 研究内容

背景

窒化ガリウム(GaN)などのワイドギャップ半導体材料は、600 V 以上の高耐圧パワーデ バイスへの応用が期待されている。これまで GaN によるパワーデバイスは、Si 基板上の高 速電子移動度トランジスタ(HEMT)のような電子のみを電気伝導に用いるユニポーラ構造 のものが実用化している。しかしながら、ユニポーラ構造によるデバイス性能には理論限 界が存在する。また、Si 基板上の結晶ではヘテロ成長による転位密度の多さに起因して、 縦型のデバイスを作ることは容易ではなく、結果的に高耐圧と低オン抵抗の両立が困難な 横型デバイスとなってしまう。一方で、電子と正孔の両方のキャリアを電気伝導に用いる バイポーラ構造にすれば、伝導度変調という現象により理論限界(ユニポーラリミット) を大幅に超えることが可能である。また GaN 基板上の結晶を用いた縦型構造にすることで、 電流密度を高めることが可能となり、高耐圧と低オン抵抗を両立できる。

しかしながら、現在までに伝導度変調を有する GaN 縦型バイポーラデバイスを作製でき るプロセスは十分に確立されていない[1,2]。その原因は結晶欠陥の存在によるものと推測 されるが、具体的には明らかになっていない。原因の不明確さにより、作製プロセスのう ちどの部分を改善してよいかの指針が立っておらず、GaN 縦型バイポーラデバイス実現の 障害となっている。

ここで伝導度変調を起こすための、半導体材料における最も重要な物性パラメータは電 子正孔対寿命(キャリア寿命)である。ただし、その測定は通常はデバイス作製プロセス 前のウェハの状態でなされる。プロセス後は結晶表面が露出しないため、測定が困難なた めである。したがって、「プロセス後」に「デバイス内部」のキャリア寿命分布が得られれ ば、個々のプロセスの影響を理解する上で極めて重要な情報となる。

目的

本研究では、我々が従来シリコンカーバイド(SiC)向けに開発してきたキャリア寿命分 布評価装置を[3]、GaN 縦型バイポーラデバイスの基礎的な構造である GaN 縦型 PiN ダイオ ードに適用し、キャリア寿命の分布を得て、高性能化を図る。この基礎的な構造の高性能 化により、GaN 縦型バイポーラデバイス全般の実用化に資することを目的とする。 結果

試料は GaN 基板上に GaN をホモエピタキシャル成長させ、エピ成長中のドーピングによ り pn 構造を形成したものであり。その後試料にメサ構造形成および電極形成を行うことで pn ダイオードとした。Fig. 1(a)に試料の概略図を示す。キャリア寿命測定は時間分解フ ォトルミネッセンス(TR-PL)法により行った。励起光源には、波長 355 nm の第 3 高調波 YAG レーザー (パルス幅 1 ns)を用い、焦点でのスポット径が 3 µm になるように対物レンズ を用いて集光した。この時、得られた信号のピークを 1 と規格化し、そこから 1/e まで減 少する時間を 1/e ライフタイムと定義し、キャリア寿命の定量値として採用した。陽極の 位置を 0 µm と設定し、試料を上方向に移動させることで分布を測定した。一方で、ダイオ ードに電流密度 7.8×10² A/cm²の電流を流すことで、エレクトロルミネッセンス(EL)分布 も観察した。

Fig. 1(b)に断面 EL のイメージを示す。このイメージから白線で示す位置の EL 強度を 抽出し、Fig. 2に示した。また Fig. 2には照射フォトン数を 10¹⁷ cm⁻²とした TR-PL での 1/e ライフタイムの分布も示す。なお TR-PL はメサ構造作製で生成されるエッチングダメ ージの影響がない部分を選択して測定している。TR-PL と EL の結果を比較すると、1/e ラ イフタイムが短い位置では EL の強度が上がり、1/e ライフタイムが長い位置では EL の強 度が下がる関係が見られた。したがって、発光を引き起こす欠陥がキャリア寿命を低下さ せていることが示唆された。

また、深さ 10 µm 付近では短い 1/e ライフタイムと強い EL 強度が見られた。この位置 はエピ層と基板の界面だと考えられる。一般にエピ/基板界面では Si が偏析すると言われ

ており、その影響が 1/e ライフタ イムと EL に現れた可能性が高い。 短い 1/e ライフタイムの領域の存 在は、デバイスのオン状態でのキ ャリアの再結合を促すため電気抵 抗増大に繋がる。したがって、現 状のデバイスは界面の Si の偏析 が存在し、性能が十分に発揮でき



ていないことが示唆された。

今後

上記の実験結果より、Si の偏析を抑制する ことで、界面でのキャリア寿命が長くなり、 pn ダイオードの順方向特性を改善できる可 能性がわかった。今後はデバイスシミュレー ションにより、どの程度のキャリア寿命の低 下であればデバイスとして問題ないかを定量 化する。また Si の偏析を抑制可能、もしくは



Siの偏析が存在してもキャリア寿命への影響が少ないデバイス製造プロセスを確立し、高い性能を有する GaN 縦型バイポーラパワーデバイスを再現性良く作製可能な技術を確立する。

引用文献

[1] Z. Hu et al., Appl. Phys. Lett. 107, 243501 (2015).

[2] K. Mochizuki et al., Jpn. J. Appl. Phys. 52, 08JN10 (2013).

[3] S. Mae et al., Materials Science Forum 924, 269 (2018).

本助成に関わる成果物

[口頭発表]

「GaN 縦型 pn ダイオード内部のキャリア寿命・EL 分布」 安田 優斗、宇佐美 茂佳、田中 教之、天野 浩、加藤 正史、2019 年第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 [19a-E301-4] 2019 年 9 月 19 日

[ポスター発表]

「TR-PL・EL 測定による GaN 縦型 pn ダイオードの評価」安田優斗,宇佐美茂佳,田中敦之, 天野浩,加藤正史、先進パワー半導体分科会第6回講演会 IIB-21 2019年12月4日