法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-21

化合物半導体デバイスプロセスの研究

太田, 博 / Ohta, Hiroshi

(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
197
(発行年 / Year)
2018-03-24
(学位授与番号 / Degree Number)
32675乙第230号
(学位授与年月日 / Date of Granted)
2018-03-24
(学位名 / Degree Name)
博士(工学)
(学位授与機関 / Degree Grantor)
法政大学 (Hosei University)
(URL)
https://doi.org/10.15002/00014769

博士学位論文
論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏名	太田　博
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	第 230 号
学位授与の日付	2018 年 3 月 24 日
学位授与の要件	法政大学学位規則第 5 条第 1 項第 2 号該当者（乙）
論文審査委員	主査　教授　栗山　一男
	副査　教授　山本　康博
	副査　教授　安田　　彰
	副査　教授　三島　友義（法政大学イオンビーム工学研究所任期付専任研究員）

化合物半導体デバイスプロセスの研究

１．論文内容の要旨

トランジスタのような半導体デバイスはシリコンを中心に発達してきたが、シリコンでは結晶中の電子の移動度には限界があり、高周波数帯で使用出来るガリウムヒ素系化合物半導体が注目されている．パワーデバイスとしては絶縁破壊耐圧がシリコンの10倍以上高く、高耐圧化、低オン抵抗化が可能であり、バンドギャップも大きく、高温下での動作が可能であるという特徴を有する窒化ガリウムが注目されている．このような状況下で、ガリウムヒ素系化合物半導体及び窒化ガリウム系デバイスの実用化研究が期待されている．

本論文は化合物半導体を用いた高速デバイスおよびパワーデバイスの性能向上を目指したデバイス作成プロセスとその性能評価を行い、従来報告されている以上の特性を得ることを目的としている．

本論文は 6 章から構成されている．

第 1 章では、研究の背景、目的について記述している．高速デバイスとして、自動車衝突防止システム用ミリ波車載レーダへの搭載を目的としたガリウムヒ素系化合物半導体を用いた高電子移動度トランジスタ（HEMT）の開発について、また、パワーデバイスとして、様々な電気機器の電源部分に用いられるパワーコントロールユニット用部品として窒化ガリウム基板上の p-n ダイオードの開発を行うことを目的としている．

第 2 章では、「超高速化合物半導体デバイスプロセス」に関し、HEMT の作成プロセスの検討について記述している．このトランジスタのゲート及びドレイン電極間容量を低減させ、同時にソース抵抗の増大を防止し、ゲート・ドレイン間の距離を大きくしたオフセットゲート構造を作成し、約２５％の容量低減を実現し最大発信周波数 170GHz が得られることを実証した．また、HEMT を 3 段接続したパワーアンプを試作し、ドレイン・ソース間電圧 3.5V 印加時に 77GHz の周波数で小信号利得 16.5dB が得られた．

第3章では、「パワー半導体デバイスプロセス」について、p-nダイオードのデバイスプロセスの検討結果を記述している．p形電極とフィールドプレート電極を接続するコンタクトホール加工プロセスのドライエッチング化を行い、従来よりも電極金属の被覆性を向上させることに成功した．さらに、素子間分離のためのメサ構造形成及びプラズマー反応性イオンエッチングによるダメージ低減プロセスの検討を行った．SOG(Spin on Glass) /SiO_2/Niの3層構造を用いることによりオン抵抗は1.22 mΩcm^2と約15%低減することを実証した．また、窒素中で850℃ 30分のアニールによりダイオードの耐圧が約4.25kVに回復することを示した．エッチングダメージ低減のために加速エネルギーを150Wから50Wに減少させたとき逆方向電圧2kV以上で逆方向リーク電流を低減することを実証した．

第4章では、「パワー半導体デバイスの高耐圧化」について記述している．不純物ドーピング濃度の異なる3層のn-GaN層を作成し、p-n接合付近のドーピング濃度を減少させることにより耐圧4.7kVの世界的トップデータを有するGaN基板上p-nダイオードを作成した．さらに、ｐ－GaN層のアクセプター濃度を通常の数分の一にし、アバランシェ降伏が生じる前にパンチスルー現象を生じさせ、耐圧4.8kVで可逆性が生じるダイオードを実現した．次にガードリング構造p-nダイオードを作成し世界トップデータである耐圧5.0kVを得た．また、p形層を薄くして逆方向電圧印加時に高抵抗化することにより耐圧を200V向上させた．この構造はガードリング部がないだけ小型化が可能である．

第5章では、「パワー半導体デバイスの大電流化」について記述している。フォトンリサイクリング現象による、電流増幅効果は電極周辺約10μmで生じていることを明らかにし、電極形状を櫛形にすることにより、オン抵抗が約20%減少することを実証した．

第６章では結論として本研究により得られた結果が総括されている．

２．審査結果の要旨

本論文は、高速デバイスとして、自動車衝突防止システム用ミリ波車載レーダへの搭載を目的としたガリウムヒ素系化合物半導体を用いた高電子移動度トランジスタ（HEMT)及びパワーデバイスとしての窒化ガリウム基板上のp-nダイオードに関し、新しい製作プロセスの提案及び解析、試作したデバイスの特性評価を行い、本研究で開発したデバイスの優位性を実証した．審査の結果、下記の点において、工学上の新規性と有効性を確認した．

１． 超高速化合物半導体デバイスプロセス

高電子移動度トランジスタ（HEMT）において、ゲート及びドレイン電極間容量を低減させ、同時にソース抵抗の増大を防止するため、ゲート・ドレイン間の距離を大きくしたオフセットゲート構造を提案し、約２５％のゲート・ドレイン間容量低減を実現し最大発信周波数 170GHz が得られることを実証した．また、HEMT を 3 段接続したパワーアンプを試作し、ドレイン・ソース間電圧 3.5V 印加時に 77GHz の周波数で小信号利得 16.5dB を得た．従来報告されている以上のトランジスタ特性を得た点に工学的有効性が認められる．

２．パワー半導体デバイスプロセス

GaN のｐ形電極とフィールドプレート電極を接続するコンタクトホール加工プロセスを開発し、従来よりも電極金属の被覆性を向上させた．また、素子間分離のためのメサ構造形成プロセスとして、エッチング時のマスクを 3 層構造とすることによりオン抵抗を約 15%低減させ、アニールによりダイオードの耐圧が約 4.25kV に回復できることを実証した．これらの実証結果は、窒化ガリウムのプロセスにおいて工学的有効性が認められる．

３．パワー半導体デバイスの高耐圧化

ドリフト層として p-n 接合付近の不純物ドーピング濃度を減少させたドーピング濃度の異なる３層のｎ－GaN 層を作成し、耐圧 4.7kV を有する GaN 基板上の p-n ダイオードを開発した．さらに、ｐ－GaN 層のアクセプター濃度を通常の数分の一にし、アバランシェ降伏が生じる前にパンチスルー現象を生じさせ、耐圧 4.8kV で可逆性のあるダイオードを開発した．次にガードリング構造 p-n ダイオードを作成し耐圧 5.0kV を実証した．さらに、ｐ形層を薄くして逆方向電圧印加時に高抵抗化することにより耐圧を 200V 向上させた．このように窒化ガリウムをパワー半導体デバイスとして使用する場合の高耐圧化を実現したことは工学的有効性が認められる．

４．パワー半導体デバイスの大電流化

フォトンリサイクリング現象による電流増幅効果は電極周辺約 10μｍ で生じていることを立証し、電極形状を櫛形にすることにより p-n ダイオードのオン抵抗が約 20%減少することを実証した．オン抵抗の減少による大電流化を実現したことは工学的有効性が認められる。

以上、本論文で提案された高電子移動度トランジスタの顕著な高周波特性の実現、窒化ガリウムを用いたパワー半導体デバイスの高耐圧化及び大電流化の実現は工学に資するところが大きい．よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士（工学）の学位に値するという結論に達した．

（報告様式Ⅲ）