

### 化合物半導体デバイスプロセスの研究

OHTA, Hiroshi / 太田, 博

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

59

(発行年 / Year)

2018-03-31

---

博士学位論文  
論文内容の要旨および審査結果の要旨

---

論文題目	化合物半導体デバイスプロセスの研究
氏名	太田 博
学位の種類	博士（工学）
学位授与年月日	2018年3月24日
学位授与の条件	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 栗山 一男 教授 副 査 山本 康博 教授 副 査 安田 彰 教授 副 査 三島 友義 教授（法政大学イオンビーム工学研究所 任期付専任研究員）

2018年 2月 1日

学位論文審査委員会

委員長 杉山 賢次 殿

学位論文審査小委員会

主査 教授 栗山一男 

副査 教授 山本康博 

副査 教授 守田 彰 

副査 教授

法政大学イオンビーム工学研究所  
任期付専任研究員

三島友義 

試問による学識確認の報告

法政大学学位規則第20条により、太田 博 氏について、その論文を中心に  
に関連する学問領域の試問を行った結果、合格と判定した。

以 上

(報告様式 I ・ 論文博士)

2018年 2月 1日

学位論文審査委員会

委員長 杉山 賢次 殿

学位論文審査小委員会

主査 教授 栗山一男 

副査 教授 山本康博 

副査 教授 宇田 彰 

副査 教授  
法政大学イオンビーム工学研究所  
任期付専任研究員

三島 友義 

太田 博 氏 提出学位請求論文

「化合物半導体デバイスプロセスの研究」

論文内容の要旨と審査結果の要旨（報告）

（報告様式Ⅱ）

## 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的 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<sub>2</sub>/Niの3層構造を用いることによりオン抵抗は1.22 mΩ cm<sup>2</sup>と約15%低減することを実証した。また、窒素中で850°C 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 $10\mu\text{m}$ で生じていることを明らかにし、電極形状を楕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  $10\mu\text{m}$  で生じていることを立証し、電極形状を楕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。