

一般論文

窒化物半導体製造装置への取り組み

Efforts by Nissin to the Nitride Semiconductor Manufacturing Equipment

渡邊 哲也* 三上 隆司*
T. Watanabe T. Mikami
安東 靖典*
Y. Andoh

概要

発光デバイス（LED）などに用いられている窒化物半導体製造装置への取り組みとして、p型GaN層の形成について、窒化物半導体の適用事例や、既存の製造装置技術の紹介と共に報告する。

Synopsis

As efforts to nitride semiconductor manufacturing equipment that has been used in light emitting devices, such as (LED), we report on the formation of the p-type GaN layer. In addition, We will introduce and application examples of the nitride semiconductor, manufacturing equipment existing technologies.

1. はじめに⁽¹⁾

現在の高度な情報化社会の背景においては、エレクトロニクスの発展がその基礎を形成しており、特に半導体技術の役割が大きい。なかでもシリコン（Si）半導体を用いた電子デバイスは、情報通信の大容量化や高速通信の必要性から様々な技術の発達に著しいものがあり、日常生活環境での利便性向上など社会基盤形成への効果において極めて大きい役割を果たしている。

一方でSiの特性から、発光デバイスや高速の電子デバイスを具体化するにあたっては、ガリウムヒ素（GaAs）に代表されるような化合物半導体がその役割を果たしてきた。その化合物半導体技術の進展もめざましく、表示機器の用いられる発光デバイスや高電子移動度トランジスタがその位置を占めてきた。

特に近年では、窒化ガリウム（GaN）に代表される窒化物半導体が急速に発展してきている。生活面においては、白熱電球や蛍光灯に替る照明機器で発光ダイオード（LED）がある。また、省エネルギーなどの社会要求を充足するために電力制御用に最適化された半導体素子で

あるパワーデバイスにおいても炭化ケイ素（SiC）に続いてGaNの適用がはじまっている。

本稿においては、現在用いられている窒化物半導体製造装置について概要を紹介する。続いて窒化物半導体製造装置への我々の取り組みとして、イオン注入によるp型GaNの形成について報告する。

2. 窒化物半導体製造装置について

ここでは、窒化物半導体製造装置として代表的なMOCVDについて概要を示す。

2.1 MOCVDについて

有機金属ガスを用いるMOCVDでは、Ⅲ族原料にトリメチルガリウム（TMGa）やトリメチルアルミニウム（TMAI）、Ⅴ族原料にアンモニア（NH₃）やホスフィン（PH₃）、アルシン（AsH₃）を、n型ドーパントにシリコン（SiH₄）を、p型ドーパントとしてマグネシウム（Cp₂Mg）などを用いる。

原料ガス供給の担い手（キャリアガス）として水素（H₂）を使用し、その供給量を流量調節器で制御し成

* 研究開発本部

膜槽の基板へ原料供給し、原料ガスが加熱された基板にとどき、その熱で分解と化学反応をおこして結晶膜を形成する。その特徴として膜質制御をするために原料ガスの供給量、キャリアガス供給量を流量調節器で制御することができることや、有機金属ガス原料の温度と基板温度の制御やガス供給のタイミングを最適化することで原子層オーダーでの膜構造を制御することが可能であることがあげられる。

2.2 デバイスプロセスの課題

しかしMOCVDでは、膜を積層させるプロセスであることから、膜形成後デバイス形成の際に不要な部分をエッチングなどで削り取り、その後必要な層を再度結晶成長するプロセスが使われている。このエッチングプロセスでは、エッチング時の残渣により再成長後の膜界面の制御が困難となり、デバイスの性能に影響するケースが多い。この界面制御の課題解決やデバイスプロセス自体の簡略化などを目的にイオン注入などの異なったプロセスの摘要が求められている。

3. 窒化物半導体製造装置への取り組み⁽¹⁾

3.1 イオン注入によるp型GaNの形成

先に記したような半導体の結晶を電子デバイスとして使用するには電極が必要で、半導体と電極金属の接触部で抵抗が少なく電流が流れる必要がある。そのために半導体と電極金属がオーミックコンタクトを形成し、半導体材料の性能を引出すために半導体の電気伝導型を決めるドーパント濃度を最適化する必要がある。

我々の取り組みとして、困難とされているイオン注入によるp型GaNの形成への試みについて報告する。

この成果は、名古屋大学、日新イオン機器株式会社との共同研究によるものである。

3.2 p型GaN形成の課題

p型GaNは、Mgをドーパントとして用いる。MOCVDでp型GaN層を形成し、その層の不要な部分をエッチングなどで削り取りp型GaN層を形成するが、エッチングプロセスでの残渣などがデバイスの性能に影響するケースが多い。

一方イオン注入では、マスクパターンでMgイオン注入する場所を限定し、p型層を形成することで部分的な層形成が可能となる。この技術が窒化物半導体のデバイス形成で期待されているプロセスの簡略化に寄与できるとされている。しかし高いエネルギーによるイオン注入で崩れた結晶を再結晶化させる1000℃付近の高温加熱プロセスが必要で、加熱によるデバイス特性に対する影響の解決も必要とされている。

3.3 Mgイオン注入によるp型GaNの形成⁽¹⁾

我々の研究において、この再結晶化の加熱時に構成

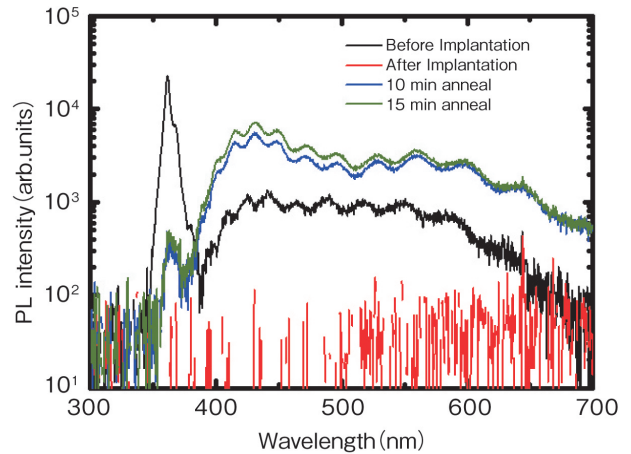


図1 アニール後のフォトルミネセンス測定

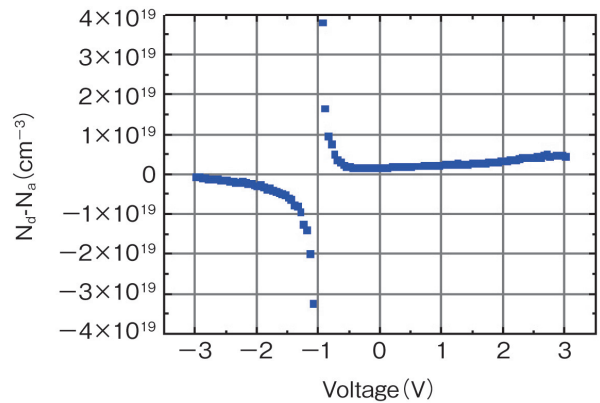


図2 アニール後のC-V測定

元素の脱離などで表面が荒れる事があり、デバイス形成に影響が考えられることから解決が必要となった。

この脱離を防ぐために窒化アルミニウム (AlN) による保護膜をほどこしたアンドープのGaNに、p型ドーパントであるMgのイオン注入を行った。あわせてAlN膜の膜厚をGaN表面の界面でMg濃度が最適になるように調整した。膜厚の調整においては、事前のイオン注入シミュレーションにより導出しMg濃度が最適となる膜厚とした。AlN膜厚は100nm イオン注入条件はイオン種Mg エネルギー85keV ドーズ量 $2.3 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ とし、イオン注入後にアンモニアと水素雰囲気下1200℃の高温加熱で再結晶化を行った。

加熱再結晶化後のフォトルミネセンス測定で波長435nm付近での発光増大と、波長359nm付近での発光減衰が観測(図1)されており、再結晶化ができていると考えられる。C-V測定では、 $N_d - N_a$ の反転が確認(図2)できておりp型GaNの形成が見込まれる。

今後は、保護膜の膜厚やイオン注入条件を最適化し、ホール測定でのp型GaN形成確認を行う。

■ 4. おわりに

本稿では、窒化物半導体の代表的製造装置の概要説明と、我々の窒化物半導体製造装置への取り組みとして、p型GaN形成へのイオン注入の適用について紹介した。

GaN系デバイスは、最も身近なLEDのみならず省エネルギーを担うパワーデバイスとしても期待されており、イオン注入や新しいプロセスを実現できる窒化物半導体製造装置が望まれている。今後我々は、窒化物半導体や新しい半導体材料の市場に応える装置開発を実施する。

■ 5. 謝辞

Mgイオン注入によるp型GaNの形成の研究開発においては、名古屋大学 大学院工学研究科 電子情報システム専攻 天野 浩教授、名古屋大学 工学研究科 電子情報システム専攻 電子工学専攻 天野研究室 博士課程 孫 政様、日新イオン機器株式会社 I/I事業センター プロセスエンジニアリンググループ 永山 勉エキスパートとの共同研究による成果である。これら共同研究において多大なご協力をいただきましたことに深く感謝いたします。

参考文献

- (1) Z. Sun et al.: Pre-sputter Technology for GaN Acceptor Doping by Mg-ion Implantation. 2014年春応用物理学学会予稿集

✎ 執筆者紹介



渡邊 哲也 Tetsuya Watanabe

研究開発本部
ビーム・プラズマ技術開発研究所
システム開発グループ 主査



三上 隆司 Takashi Mikami

研究開発本部
ビーム・プラズマ技術開発研究所
システム開発グループ長



安東 靖典 Yasunori Andoh

研究開発本部
ビーム・プラズマ技術開発研究所長