

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13116 号
------	---------------

氏 名 福水 裕之

### 論文題目

アルミニウム化合物を用いた半導体デバイス製造における原子層プロセスに関する研究

(study on atomic layer process of Aluminum compounds for semiconductor device fabrication)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	堀 勝
委員	名古屋大学	教授	宮崎 誠一
委員	名古屋大学	特任教授	関根 誠
委員	名古屋大学	特任教授	石川 健治
委員	名古屋大学	教授	中塚 理

## 論文審査の結果の要旨

福水裕之氏提出の論文「アルミニウム化合物を用いた半導体デバイス製造における原子層プロセスに関する研究」は、大規模集積回路製造およびパワーデバイス製造において重要になっている、アルミニウム化合物の原子層堆積および原子層エッチングという原子層プロセス中の化学反応機構とそのプロセスの高度化について、学術かつ実用的な成果をまとめたものであり、全7章から構成されている。

第1章は、序論で、シリコン大規模集積回路製造および窒化ガリウム (GaN) パワーデバイスにおける微細加工の位置づけを概観し、現状及び将来のデバイス構造を示すことで、本論文の目的と意義、および構成について述べている。

第2章では、本研究の主眼である、原子層プロセスにおいて、原子層堆積と原子エッチングの原理や研究の背景について述べている。

第3章では、高アスペクト孔パターンへの $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜の原子層堆積プロセスにおいて、原子層堆積プロセス装置において、原料ガス、ステージ温度などのプロセスパラメーターを変化させて形成した $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜の構造とその反応プロセス特性を解析している。その結果、アスペクト比が50の深孔に均一に $\text{Al}_2\text{O}_3$ の堆積を達成し、その反応機構を解明した。原子層堆積によって、アスペクト比50の深孔に均一に薄膜を堆積できることを世界で初めて示したものであり、この成果は、学術のみならず工業的にも高い評価を受けている。

第4章では、独自に開発した原子層プロセスおよび反応解析装置において、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜の原子層堆積中の初期薄膜形成過程について、X線光電子分光法を用いて、その場解析し、成長機構を解明するとともに、そのモデルを打ち立てることに成功した。この成果は、今後の原子層プロセスに対する統一的な反応モデルを構築のための極めて重要な学術的知見を提示している。

第5章では、AlGaIn膜の原子層エッチングとその表面解析に取り組み、将来のGaNパワーデバイスのために必須のプラズマによる低損傷プロセスについて研究を進めている。プラズマに誘起された損傷を低減するために、塩素プラズマに暴露して形成された表面改質層を解析するとともに、塩素プラズマと次の工程であるArプラズマプロセスを交互に繰り返すことによって、表面平滑な原子層プロセスが実現できることを明らかにした。

第6章では、第5章の結果を基にして、原子層エッチングと通常の反応性エッチングとのプラズマ損傷の比較を行っている。その結果、原子層エッチングと通常の反応性エッチングの相違について、プラズマ中の光とイオンとの損傷に与える影響を各々分離して明らかにしている。プラズマからの光が塩素プラズマエッチングに暴露されるAlGaInよりも下地のGaN層へ損傷を与えるが、プラズマ中のイオン照射は、AlGaIn表面に損傷を与えていることを解明した。これらの成果は、GaNパワーデバイスにおけるプラズマプロセスによって誘起される損傷の本質を明らかにしたものであり、今後の研究開発に大きな指導原理を与えている。

第7章では、本研究の結果を総括し、今後の課題および展望について述べている。

以上のように、本研究では、シリコン大規模集積回路およびGaNデバイスプロセスにおいて、アルミニウム化合物に注目して、原子層堆積および原子層エッチングプロセスの反応機構を解明し、プロセス課題を明確にするとともに、その解決方法を系統的にまとめている。これらの成果は、学術上、又工業上寄与するところが極めて大きいと判断できる。よって、本論文提出者である福水裕之氏は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。