

論文審査の結果の要旨

氏名 森 朋彦

本論文は 4 章からなり、第 1 章では本研究の背景について、第 2 章では III-V 族窒化物半導体の表面ならびに界面物性について、第 3 章では有機物半導体の表面ならびに界面物性について、そして第 4 章では本研究のまとめについて述べられている。

ワイドバンドギャップ半導体は、Si や GaAs と比べて、短波長の光を吸収・発光できるなどの優れた物性値を有するため注目されている。しかしながら、ワイドバンドギャップ半導体/金属の界面状態は不明な点が多い。そのため、ワイドバンドギャップ半導体/金属界面の解析等が必要とされている。本研究で具体的に取り扱った半導体材料は、①室温で 3.4eV のバンドギャップを有する GaN を中心とする III-V 族窒化物半導体と、②2.9eV のバンドギャップをそれぞれ有する有機半導体 (Alq₃) である。

まず p 型窒化物半導体について、その表面・界面の状態を把握することを目的として、界面状態に影響する界面形成前の GaN の表面状態を調べた結果、n 型 GaN やノンドープ GaN と比べて、p 型 GaN の表面が Ga リッチであることが分かった。次に、電気特性の金属材料による変化ならびにスロープパラメータ (S_x 値 = $d\phi_B/d\chi_M$) を調べ、電気陰性度が大きい金属ほど正孔の注入障壁の高さが小さくなる傾向が明らかになった。電気陰性度の変化 $d\chi_M$ と比べると、注入障壁の高さの変化 $d\phi_B$ は小さく、 S_x 値は 0.08 であった。これは Metal-induced gap states (MIGS) の計算値や他の材料の実験値と比べて小さい値であり、高濃度ドープした Mg などが界面準位を形成していることが推測される。

電極形成後の熱処理は、接触抵抗を低減するための一般的な半導体プロセスとして用いられている。しかしながら、化合物半導体では統一的な見解が無いため、GaN 半導体についての熱処理による電気特性と元素プロファイルの変化が調べられた。その結果、Pt ならびに Au 電極を熱処理することにより、電気特性では接触抵抗率が減少し、元素プロファイルでは Ga 元素が表面に偏析していることが明らかになった。また、GaN よりバンドギャップの小さい InGaN をコンタクト層として挿入することの有用性を調べられ、InGaN コンタクト層によりキャリア注入障壁の高さが減少できるとの結論が得られた。

有機物半導体に関しては、Alq₃/薄膜絶縁体/Al 界面の電子状態を測定し、電気二重層という観点からキャリア注入効率の向上についての機構を探った。まず

Alq₃/LiF/Al 界面の電子状態を調べ、次いでアルカリ金属フッ化物と同様に効果があると推測されるアルカリ土類金属フッ化物を薄膜絶縁体として採用した系について調べられた。Alq₃/アルカリ土類金属フッ化物/Al 界面の電子状態を系統的に調べることにより、薄膜絶縁体による電気二重層の変化ならびにキャリア注入向上の機構が考察された。まず Alq₃/LiF/Al 界面と Alq₃/Al 界面の電子状態を紫外光電子分光により調べた結果からは、薄膜 LiF を挿入することにより電子注入障壁の高さが減少していることが判明した。キャリア注入において、LiF 層そのものは絶縁体であるため電子注入の障害となるが、それ以上に Alq₃ の LUMO 準位が下がり電子が乗り越えなければならない障壁の高さが減少した効果が大きいと考えられる。また、薄膜絶縁体としては、LiF と同様に効果があると推測されるアルカリ土類金属フッ化物(CaF₂、SrF₂、BaF₂)を採用して、Alq₃/薄膜絶縁体/Al 界面の電子状態を系統的に調べ、絶縁体の材料特性と電子状態との相関を明らかにした結果、正に帯電しやすい材料ほど電子注入障壁の高さが減少することが分かった。これらの結果から、電子注入のための優れた薄膜絶縁体材料として、CsF や RbF、KF 等のフッ化物、Cs₂O や Rb₂O、K₂O 等の酸化物も優れた材料として可能性があることを提案した。

以上述べたように、本論文によって、ワイドバンドギャップ半導体の表面ならびに界面の電子状態が詳細に解明された。なお本論文の第 2 章ならびに第 3 章は、多賀 康訓氏、小池正好氏、柴田直樹司氏、永井誠二氏、山崎史郎氏、浅見慎也氏、時任静士氏、小澤隆弘氏、真部勝英氏、野田浩司氏、藤川久喜氏、大脇健史氏、鈴木基史氏、石井昌彦氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を受けるのに十分な資格を有すると認める。