

論文審査の結果の要旨

氏名 片山 竜二

本論文は、変調分光法における新規な手法を考案し、半導体結晶の界面・表面電場の特性に基づく物性の評価手法として新たに適用することにより、立方晶 GaN/GaAs ヘテロ構造における寄生伝導現象の起源、および六方晶 GaN における格子極性評価手法としての有効性を明らかにしたことを述べたものである。本文は英文で記され、全7章からなる。

第1章は序論であり、まず立方晶 GaN の一般的物性と応用上の利点を概説した上で、立方晶 GaN/GaAs ヘテロ構造において電気的评价に基づき、ヘテロ界面の寄生伝導が電気的特性に強い影響を与える可能性について述べ、さらにその機構を解明する上で界面近傍のバンド形状を明らかにすることの重要性を述べている。また、デバイス応用上重要となる六方晶 GaN の Ga ないし N 極性という格子極性とその分極電界に関わる諸物性を概説した上で、格子極性の微視的かつ非接触な評価手法の必要性を述べている。これらの課題に対し、本研究では分光学的手法として新規な変調分光法を提案し、窒化物半導体の界面および表面電場の特性に基づく物性を解明することを目的としている。

第2章では、有機金属気相成長法による立方晶 GaN/GaAs(001)ヘテロ構造の作製および構造特性と発光特性について述べ、本研究で用いた試料が積層欠陥の混入が極めて少ない高品質なものであることを示している。

第3章では、上記ヘテロ構造における Hall 効果と光伝導による横方向伝導特性、および C-V 測定による縦方向伝導特性に基づく多角的電気的评价から、GaAs 中の寄生伝導の存在を示した結果について述べている。

第4章では、上記ヘテロ構造の変調分光測定結果と考察を述べている。まず光バイアスを用いたエレクトロリフレクタンス (ER) 測定では、ショットキー電極により電界変調を行い ER スペクトルを得るとともに、GaAs にレーザー光を定常照射し変調電界を選択的に遮蔽することで、とくにフランツ・ケルディッシュ振動 (FKO) が減衰することから、ヘテロ界面近傍の強電界領域の存在を明らかにした。続いてレーザー照射の変調によるフォトリフレクタンス (PR) スペクトル測定において、ショットキー電極に印加する逆バイアスを変化させることで、ヘテロ界面の内蔵電場の向きの判定を試みている。これによりヘテロ界面近傍において GaAs のバンドが界面に向かい上方へ湾曲し、三角ポテンシャル井戸を形成していることを示し、このポテンシャル井戸中を伝導する正孔が寄生伝導の正体であることを明らかにしている。さらに信号位相の変調周波数依存性においても、FKO を示す光励起キャリアの緩和時定数が極めて長いことから、このヘテロ界面のポテンシャル井戸に注入された正孔の緩和寿命が極めて長く、寄生伝導の主要因となっていることが示されている。

第5章では、RF プラズマ援用分子線エピタキシ法によるサファイア(0001)

基板上六方晶 GaN 薄膜の作製、とくに Ga 及び N 極性の高品質 GaN 薄膜を選択的に得る条件と、これらを面内に任意に配置した格子極性反転ヘテロ構造の作製法について述べている。またアルカリエッチング速度の結晶面方位依存性および反応機構と格子極性の関係に加え、顕微ラマン分光に基づく微視的結晶品質について検討している。

第6章では、六方晶 GaN の分極電場の向きを検出することで格子極性を判定する新規な手法について述べている。薄膜に対し非接触で静電的に交流電界を印加する ER 測定において、格子極性の異なる試料間で、明確なスペクトル反転が観測されたことから、自発分極に誘起された分極電場の方向の違いにより格子極性の検出が可能であることを示した。またスペクトル形状が理論的予測と良い一致を示すとともに、位相および表面電界は顕微ラマン分光とケルビン力顕微鏡による表面電位評価より予想される結果と一致することを確認している。

第7章では、GaN におけるヘテロ界面および極性表面の諸物性を支配する内蔵電場とバンド形状の評価法として、本研究で開発した新規変調分光法が有用であることを総括的に述べ、GaN の界面・表面電場に関わる新規な知見を含めて、本論文の結論としている。

なお、本論文の第2、3、4章に述べられた内容は小早川将子、黒田正行、尾鍋研太郎、白木靖寛との、第5、6章の内容は久家祥宏、鶴沢英世、中村照幸、小牧弘典、松下智紀、近藤高志、尾鍋研太郎との共同研究によるものであるが、いずれも論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、本人の寄与が十分であると判断される。

以上、本論文は、分光学的な物性評価法に新規な手法を考案・導入し、窒化物半導体のヘテロ界面・表面の電場特性に基づく諸物性を明らかにしたという点で、物質科学への寄与は極めて大きい。よって、博士（科学）の学位を授与できると認められる。