The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ワイドバンドギャップ半導体（SiCおよび窒化物系半導体）に関する分光学的研究
Author(s)	栗本, 英治
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44937
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【28】

氏　　名	栗　本　英　治（くり もと えい じ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　18679　号
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学　位　論　文　名	**ワイドバンドギャップ半導線（SiCおよび窒化物系半導体）に関する分光学的研究**
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　萩行　正憲 （副査） 教　授　笠井　秀明　　教　授　岩崎　　裕　　教　授　高井　義造 京都工芸繊維大学工芸学部教授　播磨　　弘　　助教授　齋藤　誠慈

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は、バンドギャップエネルギーが比較的大きな半導体（ワイドバンドギャップ半導体）に属するSiCおよびいくつかの窒化物系半導体に関して、その基礎的物性解明と電子素子応用上の諸問題を解決するため、レーザーラマン散乱分光法を中心とする分光学的手法により、系統的に調べた成果をまとめたものであり、以下の6章より構成されている。

第1章では、序章として、ワイドバンドギャップ半導体研究の背景について概観したあと、本研究を行う意義と目的、及び本論文の構成を述べている。

第2章では、本論文を通じて用いた実験手法について述べている。

第3章では、SiCに関する研究をまとめている。まず、n型15R-SiCを取り上げ、その縦光学（LO）フォノン-プラズモン結合モードをラマン散乱分光法により観測し、スペクトル形状解析をもとに自由キャリアの電気的特性を評価して、電子移動度の異方性を見出している。次にSiC素子作製上で重要な電極金属/半導体間の界面反応に対するラマン散乱直接観測を試みている。本章ではn型6H-SiCと金属電極（NiとTi）の界面反応を取り上げ、金属電極とSiC界面に生じるシリサイド等の化合物形成反応や、反応の面極性依存性を明らかにしている。さらにこれらの界面反応と電極の電流－電圧特性に密接な相関があることも確認している。これらの観察はSiCの可視域での高い透明性をうまく利用したものであり、顕微ラマン分光法が無電極、非接触の有力な金属/半導体界面反応の研究手法であることを示している。

第4章では、GaN、およびInGaNのヘテロ構造物に対する研究をとりまとめている。まず、前章で取り上げられた顕微ラマン分光を用いた金属/半導体界面反応の研究手法を、p型GaNと電極金属の反応の診断に適用している。その結果、Pd/Moの2層電極構造を用いた場合、比較的低温の真空加熱処理を行うことで金属電極/GaN界面の近傍において正孔濃度が局所的に増大すること、またこれを利用してオーミック電極が形成されやすいことを見出している。更にその結果をもとに、素子形成に必要な低温熱処理を具体的に提案している。次に、InGaN/GaN量子井戸構造を取り上げ、ヘテロ界面に生じるピエゾ電界効果をラマン分光法とフォトルミネセンス法などを用いて調べている。その結果、界面の歪みとピエゾ電界の関係を明らかにし、ピエゾ電界効果が電子バンド構造に誘起する系統的な変化

を明らかにしている。

第５章では、InN に関する研究を述べている。InN は最も解明の遅れている窒化物半導体に属しているが、本章では、ラマン分光法や可視近赤外吸収測定などの分光計測や、X線回折、X線光電子分光法などの種々の計測をもとに、InN のバンドギャップエネルギーや応力歪みなどの基礎物性を調べている。その結果、良質な InN 結晶のバンドギャップは従来唱えられてきた 1.9 eV よりはずっと小さい 0.7～0.9 eV であることを実験的に確かめている。さらに InN エピタキシャル膜の結晶性劣化を促進する種々の要因の中で、特に酸素不純物の混入の影響が重大であり、混入とともに基礎吸収端が明瞭に高エネルギー側にシフトすることを見出している。またこの結果に基づいて、従来報告されているバンドギャップエネルギーとの差異について、酸素混入が重要な鍵となっている可能性を指摘している。さらに、良質の InN 膜成長のための要件と、将来素子化を図る上で問題となる熱的不安定性について論じている。

第６章では、各章で得られた結果を総括し、今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

ラマン散乱法はレーザーラマン分光法の確立以後、各種固体材料の物性情報を比較的容易に知ることのできる分光学的手法として広く用いられてきている。これは、ラマン散乱では一般に非破壊・非接触・無電極で、特別な試料加工を要さずに材料の結晶性や電子的特性を調べることができるためで、特に半導体材料の分野では確固たる地位を築いている。本論文ではこれまで研究の歴史が比較的浅いワイドバンドギャップ半導体を取り上げ、ラマン分光法を主として用いて評価し、基礎物性から素子応用にわたる領域からいくつかの重要な課題を選び、実験的な知見を得ている。本研究成果を要約すると以下の通りである。

(1)ワイドバンドギャップ半導体の特質のひとつである可視光領域での高い透明性を利用して、SiC や GaN と電極との間の半導体/金属界面反応を調べている。具体的にはプローブ光を半導体試料の裏面から入射させることにより、金属/半導体界面を直接観察している。その結果、まず n 型 6H-SiC と金属電極（Ni、及び Ti）の界面では、熱処理温度に応じて電極金属のシリサイド化合物形成反応やカーボンクラスターの形成反応が進むこと、反応には SiC の面極性依存性があること、さらにこの界面反応と電極の電流-電圧特性に密接な相関があることなどを見出している。つぎに、p 型 GaN と Pd/Mo の２層電極との界面では、比較的低温の熱処理で電極直下において正孔濃度が局所的に増大し、その結果オーミック電極が形成されることを見出している。ワイドバンドギャップ半導体は概してオーミック電極形成が困難であることから、電気伝導特性に関わる界面反応をこのような非接触、無電極の純光学的手法で診断するこれらの手法は、他の広範なワイドバンドギャップ半導体にも適用できる実用的な評価ツールと言える。

(2)InGaN/GaN 量子井戸構造に対して、ヘテロ界面に生じるピエゾ電界効果をラマン分光法とフォトルミネセンス法を用いて調べている。ヘテロエピタキシャル膜に外部応力を印加しながら同時に光学測定ができる実験装置を試作し、印加した応力をラマン測定より評価し、また井戸層のバンドギャップエネルギーをフォトルミネセンス測定より評価することにより、ピエゾ電界効果が電子バンド構造にもたらす系統的な変化を明らかにしている。

(3)n 型 15R-SiC において、ラマン散乱により LO-フォノン－プラズモン結合モードを観察し、その詳細なスペクトル解析より自由電子濃度と電子移動度の評価を行っている。その結果、結晶の c 軸に平行な向きと直角な向きで電子移動度について異方性があることを明らかにしており、将来 15R-SiC を用いて高速電子デバイスを試作する上で重要な知見を与えている。

(4)InN エピタキシャル膜試料に対して、ラマン分光法や可視近赤外吸収測定、またX線回折、X線光電子分光法（XPS）などによる評価を行い、InN 膜中の残留応力の評価、及び InN 試料の結晶性劣化と電子バンド構造の変化について系統的に調べている。その結果、良質な InN 結晶のバンドギャップエネルギーは従来唱えられていた 1.9 eV よりはずっと小さな値、0.7～0.9 eV であることを実験的に確かめている。さらに InN エピタキシャル膜の結晶性劣化には酸素不純物の混入の影響が大きいこと、また酸素の混入とともにバンドギャップエネルギーが増大することを見出している。これらの結果をもとに従来のバンドギャップエネルギーとの大きな差異について、酸素の混入が大きく関与している可能性を指摘している。

以上のように、本論文はレーザー顕微ラマン散乱分光法などの分光学的手法を主たる分析手段として、ワイドバンドギャップ半導体、特にSiCと幾つかの窒化物半導体やそれらを含む構造物について行った実験的研究をとりまとめたものである。その研究課題は基礎物性に関するものから素子応用に関わる諸問題までに及び、その成果は応用物理学、特に光物性、半導体工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。