

氏名	池田光志
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第679号
学位授与の日付	昭和55年9月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電子工学専攻
学位論文題目	STUDY OF LUMINESCENT PROPERTIES OF SILICON CARBIDE AND APPLICATION TO LIGHT-EMITTING DIODES (SiC のルミネッセンス特性及び発光ダイオードへの応用に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 川端 昭 教授 佐々木昭夫 教授 高木俊宜

論文内容の要旨

本論文は SiC 単結晶の育成法を検討し、得られた結晶について電気的性質と光学的性質を詳細にしらべ、青色発光ダイオードを試作してその特性を解明し、実用の可能性について論じたもので9章からなっている。

第1章は序論で SiC 結晶に関する研究の経過を述べ、本研究の目的と意義について説明している。

第2章はディッピング法による SiC 結晶の育成を提案している。Si 融液を入れた高純度黒鉛るつぼ中に結晶基板を浸し、成長温度、温度分布、基板位置などを変えて品質の高いエピタキシャル 6H SiC 結晶の育成を試み、再現性の良い結晶育成条件を実験的に見出している。さらに不純物として Al と N を選び、室温でそれぞれ 10^{-1} と $10^{-8} \Omega \text{cm}$ 程度の p 型と n 型の単結晶を得ている。

第3章では SiC に存在する結晶多形のうち、3C、4H、6H、15R の SiC 結晶を育成し、ホトルミネッセンスの温度依存性を詳細に測定し、これらの発光機構が自由励起子と N に束縛された励起子によることを明らかにした。さらにこれらの結果を総合的に解析して、関与しているホノンのエネルギー、自由励起子禁制帯幅および自由励起子束縛エネルギーの値を明確にした。

第4章では前章に引きつづきアクセプタとして Al、Ga および B を、ドナとして N を入れた SiC 結晶についてホトルミネッセンスを系統的に検討して不純物単位を精度よく決定した。まず低温における発光がドナーアクセプタの対発光、高温では伝導帯—アクセプタ間の発光であることを明らかにした。ついで不純物濃度と励起強度の依存性をしらべ、配位座標モデルを用いて定量的に解析した結果、立方晶位置と六方晶位置に置換した N ドナが大きく異なる不純物単位をとることを示した。さらに量子欠陥モデルを用い、局所的な有効質量と誘電率を仮定してこれらの不純物単位について定量的に説明している。

第5章ではディッピング法を用い、不純物補償法で 6H SiC の pn 接合を作り、約 490nm にピークをもつエレクトロルミネッセンスを測定して量子効率 1.0×10^{-5} という高い値を得た。この方法は簡単な工程で、再現性もよく実用化の可能性を明らかにしたものである。

第6章では不純物補償法で試作したダイオードの発光スペクトルと不純物量との関係について述べている。不純物量を増すとn層が縮退し、電流を増すとスペクトルのピークが赤色側に大きく移動することを示し、この現象がホトンの関与するトンネル効果で説明できることを示した。

第7章では回転ディップ法によるSiC pn接合の作成を提案している。不純物補償法と異なり、この方法ではpとn層の不純物制御を可能にするものである。p層にAl、n層にNのみ入れたものとさらにGaあるいはBを添加した4種類のダイオードを作成し、ホトルミネッセンスならびにエレクトロルミネッセンスの電流と温度依存性および時間分解スペクトルを測定し、これらを比較検討した結果、帯間遷移によるといわれていた425nmの発光は自由励起子発光であること、455nmの発光は何らかの局在中心に捕獲された励起子発光で主としてドナーアクセプタ対発光であること、530nmの発光は対空孔に捕獲された励起子発光によるものであることなどを明らかにした。また低温ではp層の発光が、室温付近ではn層の発光が支配的であることを示し、電子濃度が $10^{17}\sim 10^{18}/\text{cm}^3$ で最高効率を得られることを示している。

第8章ではSiC結晶のエッチングについて検討している。850~1100℃の温度範囲で、 $\text{Cl}_2\text{-O}_2\text{-Ar}$ 混合ガスによるエッチングについてガス混合比や流量とエッチング速度との関係をしらべ、表面反応速度係数をパラメータに導入した熱力学的理論で定量的に説明できることを示した。またSiCダイオードのメサエッチを行い、有効であることを明らかにした。

第9章は結論で、得られた成果についてまとめている。

論文審査の結果の要旨

現在実用化されている発光ダイオードは赤から緑にいたる波長範囲のもので、青色系統の実用化が強く要望されている。本論文はSiC単結晶の育成法を提案し、得られた結晶の発光機構を解明し、青色発光ダイオードへの応用に関する研究をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 高純度の黒鉛のつぼを用い、Si融液中に結晶基板を浸すディッピング法を提案し、再現性よく高品質のSiCエピタキシャル結晶を成長させ得ることを示した。とくに自己補償作用のために低抵抗のp型SiC結晶は育成困難とされていたが、この方法ではAl添加で $10^{-1}\Omega\text{cm}$ 程度のものを容易に得ている。
2. 3C, 4H, 6H, 15RのSiC結晶を育成し、ホトルミネッセンスの温度依存性を詳細に測定し、自由励起子発光と窒素に束縛された励起子発光であることを明らかにし、これらの結果から関与しているホノンのエネルギー、自由励起子禁制帯幅および自由励起子束縛エネルギーの値を明確にした。
3. アクセプタとしてAl, GaあるいはBを選び、ドナとしてNを添加したpおよびn型SiC結晶のホトルミネッセンスを比較検討し、不純物準位を精度よく決定した。とくにドナが置換する格子位置により、不純物準位が大きく変わることを指摘し、局所的な有効質量と誘電率を仮定して定量的に説明できることを示した。これらはエレクトロルミネッセンスの発光機構の解明に多くの知見を提供するものである。
4. 不純物補償法により6H SiC基板上にpn接合を作り、発光ダイオードとしての量子効率 1.0×10^{-5} なる高い値を得ている。これは簡単な方法で、再現性もよいので実用化の可能性を示したものである。
5. p層とn層を独立に不純物制御する方法として、異なった融液を含む多数のつぼを円形に配置し

た回転ディップ法を提案し、不純物の種類と添加量を変えたダイオードを試作し、これらのホトルミネッセンスとエレクトロルミネッセンスの電流と温度依存性および時間分解スペクトルなどを測定し、総合的に比較検討してエレクトロルミネッセンスの機構を明らかにした。さらに低温ではp層の発光が、室温付近ではn層の発光が支配的であることを示し、青色発光ダイオードの設計指針を与えている。

以上要するに本論文は、SiC単結晶の簡便な育成法を提案し、得られた結晶の電氣的ならびに光学的性質を詳細にしらべて多くの知見を得、青色発光ダイオード実用化の可能性を示したもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文を工学博士の学位論文として価値あるものと認める。