

氏名	DRICHE Khaled			
学位の種類	博士（工学）			
学位記番号	博甲第 8877 号			
学位授与年月日	平成 31年 1月 31日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	数理物質科学研究科			
学位論文題目	Diamond unipolar devices : Towards impact ionization coefficients extraction (ダイヤモンドユニポーラデバイス:インパクトイオン化係数の導出)			
主査	筑波大学教授(連携大学院)	工学博士	奥村 元	
副査	筑波大学教授	博士(工学)	岩室 憲幸	
副査	筑波大学教授(連携大学院)	博士(工学)	牧野 俊晴	
副査	産業技術総合研究所 招聘研究員	理学博士	山崎 聡	

## 論文の要旨

審査対象論文は、半導体ダイヤモンドのパワーデバイス応用について、材料の有用性判断の観点から、工学的な技術改善を行い、理学的な評価により検討を行ったものである。本論文では、主として前半に早発的絶縁破壊の原理および素子のリーク電流の発生原因について述べられるとともに、素子のリーク電流と早発的絶縁破壊を抑えることが、正確なインパクトイオン化係数の抽出に必要であることが示されており、工学的にこれを達成する方法について述べられている。後半では実験的に得られた低リーク素子に対して電子線誘起電流測定をインパクトイオン化係数評価に用いて解析評価を行っている。ここで、これまでに行われたインパクトイオン化係数の評価手法と比較して、(1) 致命欠陥を避けて評価を行えること、(2) 評価素子縁辺で発生する電界集中による過剰キャリア収集を避けて測定できること、が可能であり、その結果、より信号ノイズ比が高い評価手法であり、抽出した値が高い正当性を有すると述べている。

具体的には、まず第一章では、ダイヤモンドのパワーデバイスにおける半導体電子素子応用、特にパワーデバイス応用の観点から材料物性を調査し、期待される性能について定量的に述べられている。また、これまでに発表された半導体ダイヤモンドの素子応用について、主にユニポーラデバイスを題材としてまとめられている。

第二章では、ダイヤモンドユニポーラデバイスの動作シミュレーションについて、計算機による解析および測定データの解析に用いられるバンドギャップ、ショットキー接合、空乏層、キャリア速度、電界移動度、不純物の活性化エネルギー、移動度の温度依存性、アバランシェパラメータの各モデルおよびパラメータが述べられている。

第三章では、まずダイヤモンドの歴史と分類について述べられたのちに、単結晶成長の原理、合成手法、表面モフォロジー評価方法、不純物評価手法について示されている。また、半導体素子作製方法について、素子構造、オーミック接合、ショットキー接合について用いた技術が示されている。さらに、パワーデバイス特有の電界緩和構造である縁辺終端手法と素子作製に用いる手法について述べられている。

第四章では高耐圧ショットキー障壁型ダイオード(Schottky barrier diode)における縁辺での電界集中と電界緩和構造の必要性について、原理および実際の手法が述べられ、さらに実験的に試作されたフローティングフィールドリング構造を有する SBD の電流電圧特性とハードブレークダウン、および電界分布について示されている。続いて、フィールドプレート構造を有する SBD の設計最適化について述べられるとともに、実際に試作した素子の電流電圧特性および電界分布について示されている。また、金属半導体電界効果トランジスタ(Metal-semiconductor field-effect transistor:MESFET)について、これまでの歴史が述べられたのちに、試作した MESFET の電流電圧特性およびゲート・ドレイン間の耐電圧特性、閾値解析およびドーピング濃度の安定性が示されている。また、高濃度ドーピング層をコンタクトに用いた高電流化構造、および素子の絶縁破壊耐圧が実験的に示されている。また、ドレイン電極にショットキー接合を有する逆耐圧 MESFET の試作結果について、その電流電圧特性および絶縁破壊電圧と電界分布解析結果が示されている。

第五章ではダイヤモンドのインパクトイオン化係数について、まず、これまでに行われた実験的および数値解析的手法による抽出パラメータが述べられており、続いてその物理モデルについて示されている。また、電子線誘起電流測定法を用いた実験的なパラメータ抽出法について、その原理が述べられており、続いて測定および解析結果が示され、これまでの抽出パラメータおよび他材料との比較が行われている。

なお、審査時の発表においては、第五章で実験的に抽出したパラメータを用いて MESFET の電界分布および早発性絶縁破壊の原因についての解析結果が示されており、論文に記載されることが述べられた。また、これまでに査読付き国際論文誌に 4 件の論文発表が行われており、さらに E-MRS2018 における発表内容において Graduate Student Award を受賞したことが報告された。

## 審 査 の 要 旨

〔批評〕

学位審査は筑波大学および Université Grenoble Alpes により選定された審査委員により同時に行われた。審査対象論文については公聴会における発表および質疑を通して、発表内容、論文の主旨と手法、および結論が明確であること、電子線誘起電流測定を用いてダイヤモンド半導体の新しいインパクトイオン化係数が導かれていること、論文発表および学会賞の受賞で学位授与に十分な業績が得られている事、についての評価があった。

〔最終試験結果〕

平成30年 12月 20日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。