

氏 名	藤 森 直 治
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 2976 号
学位授与の日付	平 成 7 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	ダイヤモンドのエピタキシャル成長とその半導体デバイスに関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 松波弘之 教授 佐々木昭夫 教授 藤田茂夫

### 論 文 内 容 の 要 旨

天然のダイヤモンドは宝石として珍重され、超高圧の人工合成によるものは硬度を活用して工具などに実用されている。ダイヤモンドは周期律表のIV族元素の炭素で構成される結晶であるので、半導体材料として期待されている。本研究は、超高圧法で作製した単結晶ダイヤモンドを基板として、気相合成法によるエピタキシャル成長法で良質の単結晶層を作製する方法を確立し、これに不純物としてホウ素を添加してp型を作製、その物性を明らかにするとともに、各種の金属材料を用いて金属-半導体接触による整流性を得、これを利用したデバイスを試作して、半導体材料に適用する可能性を検討した結果をまとめたもので、9章からなる。

第1章は序論で、ダイヤモンドの物性と利用の現状、電子物性と期待される応用について概述し、超高圧を用いずに、気相から基板上に堆積する種々の合成法を紹介して、従来の研究の背景を明確にし、本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究で用いた手法であるメタンと水素からなる原料ガスをマイクロ波放電で分解し、基板上に堆積するマイクロ波プラズマCVD(化学気相堆積)法の装置、原料ガスの純度と混合比および成長条件(マイクロ波出力、基板温度、反応圧力)について述べ、基板の選択と前処理法、さらに、結晶評価方法の概要と、測定機器や条件について述べている。

第3章では、本研究に用いた薄膜堆積装置の特性を明らかにするために、シリコン基板上に多結晶ダイヤモンド膜を堆積して、表面モフォロジー、X線回折、ラマン分光法、カソードルミネセンスによって評価した結果を示している。メタン濃度の増加とともに、結晶面方位が(111)配向から(100)、(110)配向に変化することを見いだしている。

第4章では、超高圧法で作製した単結晶ダイヤモンド基板上にエピタキシャル成長させる方法を確立した成果について述べている。特に、成長層に及ぼす因子として基板面方位および反応ガス中のメタン濃度の影響について研究している。表面モフォロジー、電子線回折、ラマン分光、カソードルミネセンスや二

結晶 X 線回折の結果、(100) 基板上にメタン濃度 6% で成長させたものが最も良質であることを見いだしている。カソードルミネセンスに見られる発光スペクトルも従来の単結晶ダイヤモンドにはない新しいものを見つけている。さらにトンネル電子顕微鏡による (100) 成長層表面の観察結果から成長機構について考察を加え、二次元成長機構を確認している。

第 5 章では、エピタキシャル成長層への不純物の添加について検討している。各種の元素を添加し、表面モフォロジー観測と電子線回折で評価している。不純物添加効果が著しく現れるホウ素添加のエピタキシャル成長層については、ホール効果測定によって P 型を確認し、添加量によってキャリア密度として  $10^{13} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  の間で変化できることを見だし、キャリア移動度として最大  $500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を得ている。また、ホウ素を含む天然のダイヤモンドとは異なる発光ピークを見いだしている。

第 6 章では、ホウ素添加による p 型成長層と金属の接触特性について検討している。電流—電圧特性を評価し、オーム性電極にはチタンが適していることを見いだしている。各種の金属材料を試して、アルミニウム、タングステンが整流性を有するショットキー接触を形成することを明らかにしている。

第 7 章では、第 6 章までに確立したエピタキシャル層へのホウ素の添加技術とショットキー接触作製技術を用いて、2 種類のデバイスの試作を行っている。タングステンをを用いたショットキー接触を用いて発光素子を作製し、電流注入による発光を観測、カソードルミネセンスによる発光ピークと比較し、発光機構について論じている。アルミニウムを用いたショットキー接触を利用して金属—半導体構造で形成する電界効果トランジスタを作製し、その基本的特性を測定して、トランジスタ実現の足がかりを作っている。

第 8 章は結論で、得られた研究成果のまとめを行い、第 9 章ではその将来展望を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

宝石として珍重され、研削工具として実用されているダイヤモンドは周期律表の IV 族に属するので半導体材料としても期待されている。本研究は、超高圧法で作製した単結晶基板上に、メタンと水素を原料とするマイクロ波放電気相合成法で単結晶をエピタキシャル成長させる方法を確立し、半導体材料としての可能性を研究したもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 基板結晶方位、原料ガス中のメタン濃度がエピタキシャル成長に及ぼす影響を詳しく調べ、表面モフォロジー、電子線回折、ラマン分光、カソードルミネセンス、二結晶 X 線回折法などで成長層を評価し、(100) 基板上にメタン濃度 6% で成長させたものが最も良質であることを見いだした。さらにトンネル電子顕微鏡による成長層表面の観測結果から二次元成長機構を提唱した。
2. 結晶成長中に不純物として各種の元素を添加して、電気伝導性の制御を試み、III 族元素のホウ素が添加効果を著しく示すことを見いだした。ホール効果の測定結果から、伝導型は p 型で、添加量によって電荷を輸送するキャリア密度を  $10^{13} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  の範囲で変えられることを明らかにした。
3. ホウ素添加により作製した p 型ダイヤモンドと金属を接触させ、その電気的特性を測定して、オーム性電極にはチタンが、整流性を有するショットキー障壁にはアルミニウムやタングステンが適することを見いだした。電流注入型の発光素子ならびに電界効果トランジスタを試作し、その基本特性を測定して、半導体デバイスへの適用性を調べた。

以上要するに、本論文は、ダイヤモンド単結晶基板上への、気相合成法によるエピタキシャル技術の確立と、半導体としての適用性を明らかにしたもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成7年1月6日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。