

| | |
|--------------|---|
| Title | ダイヤモンド薄膜のエピタクシャル成長とその応用に関する研究 |
| Author(s) | 牧, 哲朗 |
| Citation | 大阪大学, 1997, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/40419 |
| 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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。 |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

| | |
|---------------|--|
| 氏 名 | 牧 哲 朗 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学) |
| 学 位 記 番 号 | 第 1 2 7 8 9 号 |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平 成 9 年 1 月 16 日 |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当 |
| 学 位 論 文 名 | ダイヤモンド薄膜のエピタクシャル成長とその応用に関する研究 |
| 論 文 審 査 委 員 | (主査) 教 授 小 林 猛 (副査) 教 授 蒲 生 健 次 教 授 岡 本 博 明 |

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はダイヤモンドエレクトロニクス応用を前提として、ダイヤモンドホモエピタクシャル成長を行い、その素子化要素技術（選択成長）の確立、光・電子物性特性評価を通じて得られたダイヤモンド薄膜物性に関する知見をまとめたものである。本文6章と謝辞から構成されている。以下に各章の概要を記す。

1章 序論 ダイヤモンドのもつ特異な性質と、その合成条件の特殊性を明らかにして、現在の気相合成ダイヤモンドの研究状況を概観する。さらにダイヤモンドを半導体として捉えたときのダイヤモンドの持つ電子物性的特徴とその問題点に言及し、本研究の研究背景と意義を明確にする。

2章 ダイヤモンド薄膜合成 気相合成ダイヤモンドの成長様式や成長機構についてその基本を明らかにする。ダイヤモンドの成長はECRマイクロ波プラズマCVD装置を用い、成長条件の相違による結晶性、薄膜成長形態の影響について考察している。高圧合成単結晶基板上にダイヤモンドのホモエピタクシャル成長を行い、成長後のエピタクシャル膜の結晶性や膜質の均一性等をカソードルミネッセンス (CL) を用いて評価を行っている。

3章 ダイヤモンド選択成長 ダイヤモンド薄膜成長形態のより深い理解とダイヤモンド素子化要素技術の確立を鑑みて、エレクトロニクス応用上重要な選択成長をとりあげ、そのプロセス条件を検討することにより、ダイヤモンドの選択成長を実現している。その実現あたっては異種基板上へのダイヤモンド核形成状況を調査し、選択マスクとしてYSZ薄膜を採用した。ダイヤモンド選択成長は多結晶、ホモエピタクシャル膜ともに得ることができ、SEM、RHEED、CL等を用いることによってその結晶性を評価している。その結果、ダイヤモンド選択成長膜の結晶性に面内分布があることを明らかにし、選択成長に伴うダイヤモンド活性種のマスク上表面マイグレーションが生じていることを指摘している。

第4章 ダイヤモンド p-i-p 接合特性 第3章で実現した選択ホモエピタクシャル成長技術のエレクトロニクス応用への可能性とダイヤモンド薄膜バルク特性を評価するため、ダイヤモンド選択ホモエピタクシャル成長膜による p-i-p 積層構造素子を作製した。p-i-p 積層構造の結晶性評価には CL を用いている。そのホール注入特性からダイヤモンド薄膜バルクに存在するトラップ準位を見積もっている。バイアスを印加することにより、p-i-p 構造素子からエレクトロニクス

トロールミネッセンス (EL) が生じていることを観測している。その発光強度温度依存性や電子線励起との相互作用(カソードエレクトロルミネッセンス (CEL)) を調査することにより、p-i-p 接合特性に伴う発光機構を明らかにしている。

第5章 ダイヤモンド表面・界面処理とその電子特性 ダイヤモンド表面の安定化制御を目的として、ダイヤモンド表面処理がダイヤモンド表面、界面の結晶性、電気特性に与える影響を検討している。まず、ダイヤモンド成長環境における水素プラズマのダイヤモンド表面に与える影響について検討している。つぎに、ダイヤモンド MISFET 応用を鑑みて、高分極誘電体 BaTiO₃ をゲート絶縁膜に用いた MIS ダイオードを作製し、その C-V 特性の評価を行っている。その特性結果から酸素吸着によってダイヤモンド界面に高密度な界面準位が形成され、フェルミレベルピンングが生じていることを立証している。この界面準位抑制のために、構成元素に酸素を含まない CaF₂ をとりあげ、これをゲート絶縁膜に用いた MIS 構造の C-V 特性評価を行った。その結果 CaF₂ を用いた場合は、蓄積から空乏まで良好に変調する C-V 特性を得た。この結果は、CaF₂ が界面準位を抑制し、安定化したダイヤモンド界面を形成することを示すものである。

第6章 結論 本論文で得られた研究成果を総括し、本研究で得られた主要な結論を記す。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ダイヤモンド薄膜のエピタクシャル成長を中心に、その素子化要素技術の確立、光・電子物性特性評価を通じて、ダイヤモンド薄膜物性に関する知見をまとめたものである。

ダイヤモンドが低圧化学気相成長 (CVD) 法にて合成が可能と明らかになって以来、ダイヤモンド薄膜の研究が世界的規模で行われてきた。しかしながら、従来の研究では、多結晶薄膜によるものが中心であったため、その電子特性には結晶粒界の影響が避けられず、その結果ダイヤモンドの電子物性は、ほとんど解明されていない状況にあった。本論文では、ダイヤモンド薄膜のエピタクシャル成長条件を把握し、得られたエピタクシャル膜による一貫した光・電子物性特性評価を行っている。

ダイヤモンドエピタクシャル膜の作製にあたっては、その結晶性についてソースガス濃度依存性が多結晶膜との比較において示され、基板結晶に対してエピタクシャル膜による結晶均一性の改善が明確に確認されている。さらに、エレクトロニクス応用上重要な素子化要素技術として選択成長をとりあげており、異種基板上へのダイヤモンド核形成状況を調査することにより、YSZ 薄膜マスクによるダイヤモンド選択エピタクシーを実現している。選択エピタクシャル膜の結晶性は SEM, RHEED, CL 等により評価され、選択成長に伴う結晶性面内分布を指摘している。

ダイヤモンド薄膜電子物性評価にあたっては、そのバルク特性と界面特性の両面から調査されている。バルク特性は、本論文で示された選択成長技術を用いることにより、ダイヤモンド p-i-p 積層構造素子を作製し評価がなされている。選択成長による積層構造により、ダイヤモンド薄膜 i-層に高い電界を印加することを可能にし、ホール注入特性から、薄膜中のトラップ準位を見積もっている。またバイアス印加に伴うエレクトロルミネッセンスを観測し、電子線励起との相互作用を評価することによりその発光機構を明らかにしている。

界面特性はダイヤモンド表面処理と関連して評価されている。まず CVD ダイヤモンド合成に不可欠な水素プラズマの影響が定量的に評価されている。さらにダイヤモンド MIS 構造による C-V 特性評価から、ダイヤモンド界面に対する酸素の影響 (フェルミレベルピンング) を立証している。最後にダイヤモンド表面の安定化制御を目的として、表面のフッ素化を提案し、界面準位を抑制したダイヤモンド界面の実現に初めて成功している。

これらの研究は、次世代の「ハード・エレクトロニクス」材料の中心として大きな期待が寄せられているダイヤモンド半導体の実現に大きく寄与するものであり、博士 (工学) 論文として価値あるものと認める。