



Title	4H-SiC バイポーラデバイスにおける結晶欠陥と電気特性の関係に関する研究
Author(s)	中山, 浩二
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/25962
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	中 山 浩 二
博士の専攻分野の名称	博 士（工学）
学 位 記 番 号	第 2 6 2 2 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 25 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学 位 論 文 名	4H-SiC バイポーラデバイスにおける結晶欠陥と電気特性の関係に関する 研究
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 森 勇介 （副査） 教 授 伊藤 利道 教 授 尾崎 雅則 教 授 舟木 剛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、4H-SiCバイポーラデバイスの特性を向上するため実施した結晶欠陥と電気特性に関する研究成果をまとめた。4H-SiCバイポーラデバイスの順方向（オン）電圧を低減するため、炭素空孔低減プロセスを適用した4H-SiC pinダイオードの作製と評価を行った。また、順方向電圧ドリフトを低減するため、(0001)C面基板を用いた高耐電圧4H-SiC pinダイオードを作製し、評価を行った。さらに、温度を150℃以上に加熱し、順方向電圧ドリフトを無効化できるTEDREC現象を見出した。

第1章は序論であり、本論文の研究背景と目的をまとめたあと、4H-SiCバイポーラデバイスの実現に向けた問題点およびその解決策について説明した。

第2章では、4H-SiCバイポーラデバイスの電気特性に影響を与える欠陥(キャリアを制限する炭素空孔、順方向電圧を増大させる基底面転位)について先行研究の成果についてまとめた。そして、n型ドリフト層を持つ4H-SiC pinダイオードおよびp型ドリフト層を持つSiCGTの先行研究の成果についてまとめた。

第3章では、炭素空孔低減プロセスを適用した厚いドリフト層を持つ4H-SiC pinダイオードの電気特性についてまとめた。炭素空孔を低減することにより、順方向電圧の小さい4H-SiC pinダイオードを作製することに成功した。

第4章では、4H-SiC pinダイオードの順方向電圧ドリフト低減に向けて、デバイス構造や成長条件の評価を行った。順方向電圧ドリフトは、4H-SiC pinダイオードを $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向に 8° オフした(0001)C面基板上に作製することで低減できることを見出した。さらに、(0001)C面基板上に作製した4H-SiC pinダイオードで、世界最高耐電圧の8.3kVを実現した。

第5章では、p型ドリフト層を持つSiCGTのオン電圧ドリフトと最小点弧電流ドリフトについて評価を行うとともに、温度を上げて、オン電圧ドリフトを無効化できるTEDREC現象についても評価を行った。通電ストレス試験後のオン電圧ドリフトしたSiCGTのオン電圧は、温度を 150°C 以上になると、通電ストレス試験前のオン電圧とほぼ等しくなった(TEDREC)。また、SiCGTに電流を通電すると、最小点弧電流も増大(ドリフト)した。いずれのドリフトに対しても、温度を上げることにより、デバイスを問題なく動作させることに成功した。

第6章では、順方向(オン)電圧ドリフトやTEDREC現象のメカニズムを明らかにするため、ショックレー型積層欠陥を含むn型ドリフト層およびp型ドリフト層を持つ4H-SiC pinダイオードの電気特性シミュレーションを実施し、順方向電圧ドリフトとTEDREC現象について、実験結果と同様な結果が得ることができた。

第7章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題と将来の展望について述べ、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨

本論文では、高耐電圧・大電流領域でのパワーデバイスへの応用が期待されている4H-SiCバイポーラデバイスの結晶欠陥と電気特性の関係について論じている。

4H-SiCのキャリア寿命を制限する結晶欠陥である点欠陥の炭素空孔と、バイポーラデバイスの順方向(オン)電流-電圧特性および逆回復特性との関係に関して評価を行っている。炭素空孔を低減するプロセスを適用した $120\mu\text{m}$ の厚いエピタキシャル層を持つ4H-SiC pinダイオードを作製し、炭素空孔を低減していないものと比べて、1割程度低い順方向電圧を実現している。一方、逆回復特性は、炭素空孔低減プロセスの適用有無で差がないことを見いだしている。デバイスシミュレーションとの比較から、順方向電流-電圧特性では炭素空孔による再結合が、逆回復特性ではpn接合などの界面での再結合が、それぞれ、支配的になっていることを明らかにしている。

4H-SiCバイポーラデバイスの順(オン)方向に電流を通電すると順方向(オン)電圧が増加する、順方向(オン)電圧ドリフトと呼ばれる現象と、面欠陥であるショックレー型積層欠陥との関係に関して評価を行っている。 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向に 8° オフした(0001)C面基板上に4H-SiC pinダイオードを作製することで、 $100\text{A}/\text{cm}^2$ における順方向電圧の増加量が低減できることを見出している。さらに、(0001)C面基板上に作製した4H-SiC pinダイオードで、(0001)C面基板上では世界最高耐電圧の8.3kVを実現している。順方向(オン)電圧が増大したデバイスを電力変換回路で使用するという観点から、デバイスの温度を 150°C に維持することにより、順方向(オン)電圧ドリフトを無効化する手法を見出している。ショックレー型積層欠陥を有する4H-SiCバイポーラデバイスに関して、量子井戸構造を用いたデバイスシミュレーションモデルを構築し、順方向の電流-電圧特性、および、その温度特性について、実測値と比較することにより、そのモデルの妥当性を示している。

以上のように、本論文は4H-SiCバイポーラデバイスの電気特性に影響を与える結晶欠陥を明らかにし、その結晶欠陥を低減したデバイスの電気特性が向上することを実証すると同時に、結晶欠陥を有するデバイスシミュレーションモデルを考案し、その妥当性を検証することにより、4H-SiCバイポーラデバイスの電気特性向上に寄与する知見を得たものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。