

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	スイッチング素子応用を目指したグラフェン電界効果トランジスタのオン/オフ比向上に関する研究
Title(English)	A Study on Improvement of on/off Ratio in Graphene Channel Field-Effect-Transistors for Switching Device Applications
著者(和文)	永久雄一
Author(English)	Yuichi Nagahisa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9648号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種類:課程博士, 審査員:徳光 永輔,筒井 一生,渡辺 正裕,大見 俊一郎,波多野 睦子, 尾辻 泰一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9648号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		永 久 雄 一	
論文審査 審 査 員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	徳 光 永 輔	教授	審査員	波 多 野 睦 子	教授	
	審査員	筒 井 一 生	教授		尾 辻 泰 一	東北大教授	
		渡 辺 正 裕	准教授				
		大 見 俊 一 郎	准教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「スイッチング素子応用を目指したグラフェン電界効果トランジスタのオン/オフ比向上に関する研究」と題し、6 章より構成されている。

第 1 章「序論」では、本研究の背景と目的を述べている。最初に金属/酸化物/半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）の微細化と高集積化の傾向を説明し、チャネルに高移動度材料であるグラフェンを用いることの必要性和優位性を述べている。次に、グラフェンをチャネルに用いた FET では、グラフェンのバンドギャップが 0 であるために両極性動作を示し、さらにオン/オフ比が小さいことが問題であることを指摘し、これを解決するための手段として n 型ドーピングした半導体 SiC（n-SiC）をソース/ドレインとして用いたグラフェンチャネル電界効果トランジスタ構造を提案している。この構造では、ソース/ドレインとグラフェンチャネル間のショットキー障壁をゲート電圧で変調することにより高いオン/オフ比が期待できる。最後に、本研究の目的は、提案した構造のデバイスを実験的に作製、評価することによりその動作メカニズムを明らかにし、さらに高いオン/オフ比を実現して、実用化への指針を示すことであると結んでいる。

第 2 章「試料作製方法、評価方法」では、高温真空アニール処理による SiC 上へのグラフェン形成手法、および提案したデバイス構造の作製方法について述べている。さらに、グラフェンの評価手法と作製したデバイスの電気特性の評価手法についても述べている。

第 3 章「高真空下におけるグラフェン形成手法の検討」では、一般的に報告されている超高真空アニール処理による SiC 上へのグラフェン形成条件よりも、真空度の低い圧力領域（ $10^{-4}\sim 10^{-1}\text{Pa}$ ）においてグラフェン形成条件の検討を行っており、この圧力領域においては、アニール時のチャンバー内の残留酸素がグラフェンの品質に悪影響を与えることを実験的に明らかにしている。これを抑制するために、グラフェン形成前に SiC 基板表面を熱酸化処理する手法を採用し、10nm 程度の SiO₂ 層を形成した後にアニール処理を行うことで、高品質のグラフェンが形成できることを示している。

第 4 章「n-SiC をソース/ドレインとしたグラフェン FET の試作と動作メカニズムの考察」では、試作したデバイス特性と動作メカニズムについて議論している。最初に、アニール処理により SiC 上に形成したグラフェンをチャネルとするデバイスの伝達特性を評価したところ、単極性動作が見られたものの、得られたオン/オフ比は 2 以下と極めて低い値であったことを述べている。次に、トップゲート付の Cross Bridge Kelvin 素子によるグラフェン/n-SiC コンタクト特性の評

価結果から、試作した素子においてはショットキー障壁高さの変調効果が十分ではないと結論づけている。さらにこの原因として、グラフェン/ n -SiC 界面に存在するバッファ層と呼ばれる界面遷移層に存在するトラップにより、グラフェン/ n -SiC コンタクトのショットキー障壁のゲート電圧による変調が妨げられているためと考察している。

第 5 章「界面制御したグラフェンをチャンネルに用いることによるグラフェンチャンネル FET の高性能化」では、水素アニール処理によりバッファ層と呼ばれる界面遷移層をグラフェンへと改質し、バッファ層無しのグラフェン/ n -SiC 界面を有するデバイスを作製して、その特性を評価している。バッファ層の無い 1~3 層のグラフェンをチャンネルとして用いたデバイスは明瞭な単極性動作を示し、グラフェンチャンネル FET としては極めて高いオン/オフ比($10^3 \sim 10^5$ 程度)が得られたことを述べている。さらにグラフェン/ n -SiC コンタクト特性を評価したところ、ショットキー障壁高さの顕著なゲート電圧依存性を観測し、これは観測されたグラフェンチャンネル FET の高いオン/オフ比を説明するのに十分な値であると結論している。

第 6 章「結論」では、本研究の成果をまとめた上で研究成果の位置づけを示し、今後の展望および実用化に向けた課題を示している。

以上を要するに、本論文は n 型ドーピングした半導体 SiC をソース/ドレインとして用いたグラフェンチャンネル電界効果トランジスタ構造を提案し、実際にデバイスを作製してその動作メカニズムについての考察を行うとともに、グラフェン/ n -SiC 界面特性を改善することにより高いオン/オフ比をもつデバイスを初めて実現し、グラフェンチャンネル FET のスイッチング素子への応用可能性と指針を示したものであり、工学上および工業上寄与するところが多い。よって我々は本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。