

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 物理電子システム創造 専攻
Department of
学生氏名： 永久 雄一
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 徳光 永輔
Academic Advisor(main)
指導教員(副)： 筒井 一生
Academic Advisor(sub)

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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」は、本研究の背景、および目的について述べている。大規模集積回路(LSI)は金属/酸化物/半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)の微細化、高集積化により性能を向上させてきたが、近年微細化による更なる性能向上が困難になってきている。そのため、チャンネルに高移動度材料を用いることによる性能向上が期待されており、本研究では優れたキャリア輸送特性を有するグラフェンに注目した。一方で、グラフェンはバンドギャップが存在しない材料であるため、グラフェンをチャンネルとした電界効果トランジスタ(GFET)はオン/オフ比が非常に低(2~20 程度)く、両極性動作を示すという特徴があり、これは LSI の論理素子等のスイッチング素子に応用する際に大きな問題となる。本論文では、この問題を解決するための手法として n 型ドーブした SiC(n-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(n-SiC-S/D-GFET)構造を提案した。このデバイス構造は、ソース/ドレインとグラフェンチャンネル間のショットキー障壁のゲート変調によりオン/オフ比を得るという、従来型の FET 構造と異なる動作メカニズムで動作し、シミュレーションによれば、大きなオン/オフ比と単極性動作が期待できる。本研究では n-SiC-S/D-GFET 構造を実験的に作製・評価することにより実際の素子の動作メカニズムを把握し、高オン/オフ比の実現、実用化への指針を提示する事を目的とした。

第 2 章「試料作製方法、評価方法」においては、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、n-SiC-S/D-GFET 構造の作製方法について述べた。さらに、形成されたグラフェンの評価手法、デバイスの電気特性の評価手法についても記述した。

第 3 章「高真空中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 上グラフェン形成条件よりも、真空度の低い圧力領域(10^{-4} ~ 10^{-3} Pa)にてグラフェン形成条件の検討を行い、この圧力領域においては、アニール時のチャンパー内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た。また、この問題を解決するために、グラフェン形成前に SiC 基板表面を熱酸化処理し、10nm 程度の SiO₂層を形成してからアニールすることで、酸素のグラフェン品質への悪影響を抑制でき、高品質なグラフェンが形成できることを示した。

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」においては、試作した n-SiC-S/D-GFET の特性と動作メカニズムについて議論した。試作した n-SiC-S/D-GFET の伝達特性において両極性動作の弱い抑制効果が見られたが、得られたオン/オフ比は 2 以下と極めて低い値であった。トップゲート構造を付加した Cross Bridge Kelvin 素子(TG-CBK 素子)によるグラフェン/n-SiC コンタクト特性の評価結果も踏まえ、試作した素子において当初意図したショットキー障壁高さの変調効果が見られていないと結論づけた。この要因として、特に重要であるものがグラフェン/n-SiC 界面に存在するバッファ層(BL)と呼ばれる界面遷移層の影響であり、BL に存在すると考えられるトラップによりグラフェン/n-SiC コンタクトとのゲート変調が妨げられていると結論付けた。

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」においては、水素アニール処理により BL をグラフェンへと改質し、BL 無しのグラフェン/n-SiC 界面を有するサンプルを用いて FET を作製し、評価した。バッファ層の無い 1~3ML グラフェンを形成してチャンネルとして用いた n-SiC-S/D-GFET は、伝達特性において明瞭な単極性動作を示し、グラフェン FET としては極めて高いオン/オフ比(10^3 ~ 10^5 程度)を得ている。さらに TG-CBK 素子では、グラフェン/n-SiC ダイオード特性の顕著なゲート電圧依存性が確認された。ダイオード特性よりショットキー障壁高さを見積もった結果、ゲート電圧の変化によりショットキー障壁高さが 0.48~0.72eV 程度変調していることを確認した。これはトランジスタのオン/オフ比の説明に十分な値であった。

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、今後の展望として、実用化の可能性とそれに向けた課題を示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造 専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	永久 雄一	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	徳光 永輔	
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	筒井 一生	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis entitled “A Study on Improvement of on/off Ratio in Graphene Channel Field-Effect-Transistors for Switching Device Applications” consists of 6 chapters written in Japanese.

In chapter 1, backgrounds are described. For future LSI applications, high electron mobility materials are required in MOSFETs’ channel. Graphene is one of the candidates, because it has excellent electron transportation properties with very high electron mobility. However a lack of band gap of graphene causes very low on/off ratio and ambipolar behavior of graphene field-effect-transistors (GFETs). This makes it difficult to apply graphene to switching device applications. To realize GFET with high on/off ratio and unipolar behavior, I have fabricated and characterized GFET with n-SiC source/drain regions (n-SiC-S/D-GFET). In this device, high on/off ratio and unipolar behavior is expected by Schottky barrier modulation of graphene/n-SiC contacts.

In chapter 2, experimental and characterization procedures are described.

In chapter 3, graphene formation processes on SiC in moderately vacuum conditions (10^{-4} – 10^{-1} Pa) are studied. Degradations in graphene quality by residual oxygen in a chamber and passivation effect of thermally grown oxide silicon dioxide (SiO_2) against oxygen are confirmed.

In chapter 4, n-SiC-S/D-GFETs and cross bridge Kelvin resistors with top gate structures (TG-CBKR) are fabricated and characterized. n-SiC-S/D-GFETs and TG-CBKRs show low on/off ratios and no significant Schottky barrier modulations of graphene/n-SiC contacts. It is concluded that traps in a buffer layer (BL) between graphene and SiC prevent barrier height modulation by gate voltage.

In chapter 5, n-SiC-S/D-GFETs without BL are fabricated and characterized. Graphene without BL is formed by hydrogen annealing of graphene on SiC. The GFETs show significant high on/off ratios (10^3 – 10^5) and obvious unipolar behaviors. TG-CBKRs also show significant gate modulations in current (J)–voltage (V) characteristics of graphene/n-SiC Schottky contacts. Estimated barrier heights against electron of graphene from the J–V characteristics changed 0.48eV to 0.72eV by gate voltage changes. This value is reasonable to explain the high on/off ratios of n-SiC-S/D-GFETs.

In chapter 6, conclusion of this thesis is described. In addition, future prospects and tasks toward commercialization are suggested.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).