

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study of semiconductor quantum dot transistors and ELGP nanopore for DNA sequencer
著者(和文)	大勝賢樹
Author(English)	Genki Ohkatsu
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12864号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:真島 豊,舟窪 浩,神谷 利夫,片瀬 貴義,伊澤 誠一郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12864号, Conferred date:2024/9/20, 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

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	大勝 賢樹		審査員主査： Chief Examiner	真島 豊	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、“Study of semiconductor quantum dot transistors and ELGP nanopore for DNA sequencer” (半導体量子ドットと無電解金メッキナノポア DNA シーケンサに関する研究) と題し、英文 5 章から構成されている。

Chapter 1 “Introduction” (序論)では、量子ドットトランジスタ、無電解金めっき (ELGP) ナノポアの作製に向けて、10 nm 以下のナノ材料造形手法としての電子線リソグラフィ (EBL)及び ELGP、単電子トランジスタ、1 次元材料としての Te、ナノポア DNA シーケンサに関連する研究報告を総説し、本研究の意義と目的を述べている。

Chapter 2 “CdS quantum dot transistor based on HS-Au/Pt nanogap electrodes” (ヘテロエピタキシャル球状金/白金ナノギャップ電極を用いた単一 CdS 量子ドットトランジスタ)では、単一 QD の電気的特性を評価するために、ギャップ長がコロイド状 CdS QD (コア径 3.8 nm) と等しいヘテロエピタキシャル球状 (HS) 金/白金ナノギャップ電極を作製し、化学吸着によって CdS QD トランジスタを作製した。このデバイスは、量子ドット単電子トランジスタ (QD-SET) として機能し、クーロンブロック現象による理論的な単電子トンネル電流に加えて、急峻な電流上昇を観測した。この急峻な電流上昇は、QD の離散的なエネルギー準位を介した共鳴トンネル電流の理論解析結果と一致することを明らかにした。これは、単一 QD デバイスの実現において HS-金/白金ナノギャップ電極の有用性を示すと共に、QD 固有の特性である共鳴トンネル現象を利用できることを明らかにした。

Chapter 3 “Te nanowire transistor” (Te ナノワイヤトランジスタ)では、p 型半導体で 1 次元材料である Te において、電子線リソグラフィにより線幅 20 nm のナノワイヤを作製し、0001 方位がナノワイヤ軸方向と平行に配向することをラマン分光により明らかにし、Te ナノワイヤトランジスタが p 型半導体トランジスタとして動作し、Te の量子化準位に起因した電流ピークがゲート変調特性において観察されることを明らかにした。

Chapter 4 “ELGP nanopore for DNA sequencing” (DNA シーケンスに向けた ELGP ナノポア)では、固体ナノポア DNA シーケンスの新しいプラットフォームとして ELGP ナノポアを提案し、ELGP ナノポアの作製プロセスを確立した。ELGP ナノポアは、EBL、リフトオフ、ドライおよびウェットエッチング技術、ELGP によって作製した。ELGP ナノポアにおいて、一本鎖 (ss) DNA の時系列イオン電流遮断シグナルを観測し、ss-DNA 配列に起因したイオン電流シグナルを観察したことを明らかにした。

Chapter 5 “Conclusion” (結論)では、本研究で得られた結果を総括し、本論文の結論と

今後の展望を述べている。

以上を要するに本研究では、電子線リソグラフィと無電解金めっきに基づき、3種類のナノデバイスの作製技術の確立、デバイス動作を実現している。単一 CdS 量子ドット単電子トランジスタでは、クーロンブロッケード現象に起因した電流に、共鳴トンネル電流が重畳して観察されることを明らかにし、EBL のリフトオフで作製した Te ナノワイヤがワイヤ軸方向に 0001 方位が配向して結晶化し、ナノワイヤトランジスタで動作することを明らかにし、EBL と ELGP 手法を駆使して孔径 3 nm の ELGP ナノポアを作製する手法を確立し、ss-DNA の配列に起因するイオン電流変化を観察することが可能であることを明らかにした。

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

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	大勝 賢樹		審査員主査： Chief Examiner	真島 豊

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The concept of nanotechnology was first proposed by Feynman in 1959 and later named by Taniguchi in 1974. Processing at the sub-10 nanometer scale opens up possibilities for novel devices, leveraging quantum properties or enabling single-molecule detection, functionalities unattainable at larger scales.

This thesis focuses on establishing fabrication processes for three types of single-nanoscale devices using electron-beam lithography: CdS quantum dot transistors, Te quantum nanowire transistors, and electroless-Au plated (ELGP) nanopores for DNA sequencing.

I successfully fabricated CdS quantum dot transistors and Te quantum nanowire transistors, and subsequently characterized and analyzed their electrical properties based on the quantized energy states of their respective nanostructures.

Additionally, I developed a fabrication technique for ELGP nanopores, combining electron-beam lithography, dry and wet etching, and electroless gold plating. This enabled the successful readout of ion current signals from single-strand DNA.

This thesis consisted of five chapters.

Chapter 1 provides an overview of the background and technologies relevant to the research, including the history of semiconductor miniaturization, lithography techniques, and the working principles of nanodevices.

In Chapter 2, I established the fabrication process of a semiconductor QD transistor. I introduced heteroepitaxial spherical (HS) Au/Pt nanogap electrodes with gap separation of a single nanometer fabricated by using electron beam lithography (EBL) and electroless gold plating (ELGP), which are close to the particle size of the QDs.

In Chapter 3, I established the fabrication process of 20 nm width Te quantum nanowire transistor based on EBL and lift-off. The compatibility of Te evaporation at low temperatures with the EBL and lift-off process was established.

In Chapter 4, I established the fabrication process of ELGP nanopore for DNA sequencing as an application of nanotechnology in biotechnology.

In Chapter 5, I concluded the thesis and discuss future perspectives.

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 1 copy 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).