T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	単分子膜モットＦＥＴの作製と室温動作
Title(English)	Fabrication and operation of monolayer Mott FET at room temperature
著者(和文)	楊帆
Author(English)	Fan Yang
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10694号, 授与年月日:2017年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:冨田 育義,山本 浩史,真島 豊,小泉 武昭,稲木 信介,山下 敬郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10694号, Conferred date:2017/12/31, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物質電子化学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　理学　）
学生氏名： Student's Name	楊　　帆	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	山本　浩史
		指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)	冨田　育義

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は、「単分子膜モット FET の製作と室温動作」と題し、単分子膜によって構成されるモット絶縁体の電界効果トランジスタ(FET)動作に関する成果をまとめたものである。英文で記述され、６章から構成されている。

第一章「Introduction」では、本論文の課題設定に至った背景と理由が述べられている。まず有機 FET について、その発展の歴史や動作原理が紹介され、FET 性能評価のための解析法についても解説している。次にモット絶縁体と呼ばれる特殊な半導体材料について記述しており、モット転移と呼ばれる相転移や、その超伝導との関係について述べている。さらに、電界効果を使ったモット転移の理論を紹介した後、有機伝導体の歴史と具体例が提示され、その中でも特にκ型 BEDT-TTF(=bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene)と呼ばれる塩におけるモット転移と超伝導との関係や、FET 構造による電界誘起超伝導などの現象が述べられている。一方で、κ型 BEDT-TTF 塩の FET は室温動作が困難で、室温動作可能なモット FET として、単分子膜を使ったデバイスを申請者が着想することに至った経緯が記述されている。最後に、単分子膜作製法についていくつかの可能性が提示され、自己組織化膜(SAM)を最もふさわしい手法として選んだことが述べてられている。

第二章「Molecular design, synthesis, and monolayer fabrication」では、κ型 BEDT-TTF 塩に類似の電子状態を持つ SAM を得るための分子デザインとその合成法を報告している。さらに濃度を変えながら溶液法で SAM の作製を行い、膜質の評価を原子間力顕微鏡(AFM)や X 線反射法(XRR)によって行った結果が示されている。様々な条件検討の結果、比較的高い品質のＳＡＭが得られることが明らかとなった。

第三章「FET property without doping」では、前章で作製された SAM の FET 動作について報告している。本来モット絶縁体を得るためには化学ドーピングを行う必要があるが、それをする前段階として、ドーピングする前の p 型 FET の性能を検証している。その結果、SAM 作製時には添加物などを使わない方が良質な膜が得られることが明らかとなった。

第四章「F4TCNQ Doping by spin coating method」では、SAM をモット絶縁体にするためにドーパントとして F4TCNQ(=2,3,5,6-Tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane)を用いた実験が紹介されている。スピンコートする F4TCNQ の濃度を少しずつ上げながら、FET 動作の変化を追い、ドーピングによって室温で両極性動作が得られることを明らかにした。このようなドーピングによる両極性動作は、他の有機 FET には見られない動作様式であり、ここで得られた FET がモット FET であることを示唆している。また、ドーピング濃度を変化させた時の閾値電圧のシフトについても、通常の有機 FET とはシフト方向が逆であり、モット絶縁体の存在を示唆する結果となった。

第五章「Temperature dependence」では、FET 動作の温度依存性について報告している。冷却しながら FET 動作を調べたところ、p 型領域では通常の FET と同じ Meyer-Neldel 則が成り立つが、n 型領域では同則が成り立たず、電界効果によってバンド構造が変化していることが示唆された。これは FET の界面でモット転移が起きていると考えると、説明のつく現象である。

第六章「Concluding remarks」では、実験結果と考察が総括され、今回作製したデバイスが室温動作する有機モット FET であることを再確認するとともに、今後の発展性について述べている。

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).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物質電子化学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 理学 ）
学生氏名： Student's Name	楊 帆		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	山本 浩史	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	冨田 育義	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

In order to drive field-effect-transistor (FET) based on an organic Mott insulator at room temperature, fabrication and operation of monolayer FET have been examined.

Design and synthesis of a new pi-conjugated molecule based on tetrathiafulvalene (TTF) skeleton have been carried out by introducing an alkyl spacer and phosphonic acid to BEDT-TTF (bis(ethylenedithio)TTF) moiety. It was designed to form a covalent band with alumina substrate, to result in a monolayer so called SAM (self-assembled monolayer). The internal structure of this monolayer was confirmed by x-ray reflectivity.

FET characteristic of monolayer device was checked and p-type FET behavior was found. In order to approach the electronic structure of well-known Mott-insulating BEDT-TTF cation radical crystals, F_4TCNQ (= Tetrafuluoro-tetracyanoquinodimethane) dopants was used to extract electrons from the monolayer. This p-type monolayer FET device turned into an ambipolar FET device after doping. Increasing the doping amount raised the mobility of the monolayer device and threshold voltage was found shifting towards negative region. This contrasts to normal doping on a p-type or n-type organic FET device because the voltage shift occurred in the opposite direction without ambipolar action. These facts indicated this ambipolar device should have a different conduction mechanism from ordinary semiconductor FETs.

Temperature dependence was checked on three ambipolar devices doped by 0.5 g/L F_4TCNQ solution. Arrhenius plot was applied to extract the activation energy E_a and the conductivity at high temperature limit σ_0. For all three samples, Arrhenius plots in p-type region follow the Meyer-Neldel rule, but not in n-type region. Furthermore, E_a and σ_0 were found increasing with applied gate voltage at high positive gate voltage region, which should not be the case with ordinary semiconductor FETs. Since the precondition of Meyer-Neldel rule is a stationary band structure during electronic doping, pseudo gap, which is a signature of doped Mott insulator, may exist and change its shape during the electrostatic doping in the n-type region. In total, the present monolayer device is suggested to be a Mott FET device operating at room temperature.

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).