

応用物理学会関西支部  
平成27年度第3回講演会

関西地域における省エネ&創エネ  
デバイス研究

**主 催** : 応用物理学会関西支部

**日 時** : 2016年2月5日(金) 13:00~18:00 (懇親会~20:00頃)

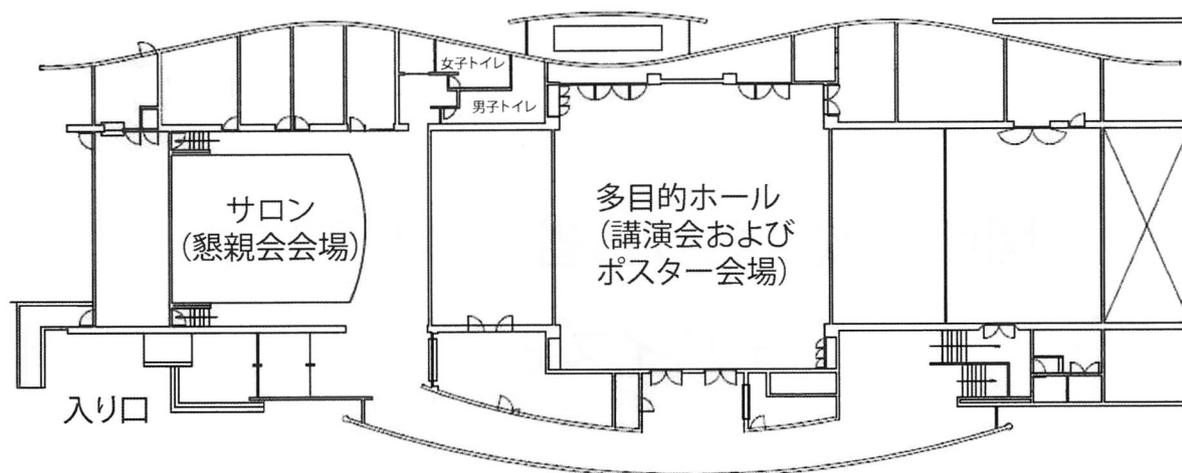
**場 所** : 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス

学術交流会館 多目的ホール



The Japan Society of Applied Physics

## 会場案内



注 懇親会会場が変更になりました（講演会会場と同じ建物で行います）。

## プログラム

### 第一部：講演の部（学術交流会館 多目的ホール）

- 13:00～13:05 開会の辞 斧 高一（支部長, 京都大学）
- 13:05～13:35 カルコパイライト型リン化物の結晶成長と太陽電池  
野瀬嘉太郎 先生（京都大学）
- 13:35～14:05 環境発電に向けたグラフェンのフォノンエンジニアリング  
有江隆之 先生（大阪府立大学）
- 14:05～14:35 1原子・1分子接合の熱電特性  
谷口正輝 先生（大阪大学）
- 14:35～14:50 休憩
- 14:50～15:20 MEMS 振動型エナジーハーベスタの開発  
藤田孝之 先生（兵庫県立大学）
- 15:20～15:50 高性能塗布型有機トランジスタと論理回路・センサへの応用  
宇野真由美 先生（大阪府立産業技術総合研究所）

### 第二部：ポスター発表の部（学術交流会館 多目的ホール）

16:00～18:00 ポスター発表

【授賞式・懇親会】（於：学術交流会館 サロン）

18:10～20:00 授賞式・懇親会

## カルコパイライト型リン化物の結晶成長と太陽電池

### Crystal growth of chalcopyrite phosphides and its application to solar cells

○野瀬 嘉太郎, 中塚 滋 (京都大学大学院工学研究科)

○Yoshitaro NOSE, Shigeru NAKATSUKA (Kyoto University)

E-mail: nose.yoshitaro.5e@kyoto-u.ac.jp

近年、エネルギー・環境問題が深刻化する中で、クリーンで無尽蔵のエネルギー源である太陽光発電に対する期待が高まっている。現在、太陽電池材料としてはシリコンが主流であるが、さらなる高効率化および低コスト化が求められており、様々な材料について太陽電池への応用が検討されている。市販されている無機化合物太陽電池の光吸収層材料としては、CdTe と Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) がある。これらの材料を用いた太陽電池は多結晶シリコン太陽電池に匹敵する変換効率が報告されているが、一方で、インジウムやテルルなどの希少元素、および毒性が強いとされるセレンやカドミウムを用いているという問題点がある。このような背景から、我々は CIGS と同じカルコパイライト型の結晶構造を持つ ZnSnP<sub>2</sub> に着目し、研究を行っている。ZnSnP<sub>2</sub> は、安全、安価で豊富な元素から構成されており、光吸収係数も CIGS に匹敵することから、光吸収層材料として魅力的な材料である。しかし、これまでに ZnSnP<sub>2</sub> を光吸収層として用いた太陽電池は報告されていない。

そこで我々は、ZnSnP<sub>2</sub> 太陽電池を実現すべく、バルク結晶の成長とその物性の評価・制御、およびリン化法による薄膜作製プロセスの確立に取り組み、これらを基に太陽電池セルを試作して光起電力を確認している。バルク結晶成長では、Zn-Sn-P 三元系状態図 (相図) を実験的に作成し、これを基に ZnSnP<sub>2</sub> 単相が得られる結晶成長条件を確立した。成長させたバルク結晶を用いてホール効果測定を行った結果、ホール濃度は  $10^{16}$ - $10^{17}$  cm<sup>-3</sup>、移動度は  $\sim 10$  cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> であり、光吸収層として適した電気的特性であることがわかった。リン化法による薄膜作製では、独自のリン蒸気圧制御法を開発し、これを用いてスパッタリングにより成膜した Zn-Sn 膜をリン化することで単相薄膜を得ている。また、熱力学的な観点からリン化メカニズムを明らかにした。講演では、以上のバルク成長および薄膜作製に関する我々の研究について紹介し、ZnSnP<sub>2</sub> 太陽電池の現状と高効率化に向けた課題について述べる。高効率化に向けた問題の一つに、セルにおけるバンドアライメントの最適化が挙げられる。現在、セル構造としては CIGS 太陽電池に倣って Al/AZO/CdS/ZnSnP<sub>2</sub>/Mo/SLG としている。この構造において、CdS/ZnSnP<sub>2</sub> 界面は pn 接合を形成するうえで最も重要な界面である。我々の第一原理計算の結果、この界面における伝導帯下端 (CBM) オフセットが大きいことが示唆された。これは太陽電池における開放電圧の低下につながる。そこで、CdS, ZnS, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> と ZnSnP<sub>2</sub> との CBM オフセットを X 線光電子分光により評価した。その結果、CdS を用いた場合は 1eV 以上の大きなオフセットが確認されたのに対し、ZnS, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> を用いた場合は比較的小さなオフセットであった。これらの特徴は、I-V 特性にも現れており、バンドアライメントを適切に制御することの重要性が示された。

## 環境発電に向けたグラフェンのフォノンエンジニアリング

### Phonon engineering of graphene for thermoelectric devices

○有江 隆之 (大阪府立大学)

○Takayuki Arie (Osaka Prefecture University)

E-mail: arie@pe.osakafu-u.ac.jp

現代のエネルギー問題解決のためには、無駄に捨てられている熱を制御、再利用する熱マネジメントが重要である。特に熱電変換に着目すると、300°C以下の低温排熱が排熱の大半を占めているため、熱源と密着させることが可能な高効率熱電変換素子の開発が急務となっている。我々はこれまで、熱電変換素子のモデル構造として、熱伝導キャリアがフォノンであるグラフェンを取り上げ、熱伝導を低下させる構造を模索してきた。

グラフェンは炭素原子が六角形を形成した蜂の巣構造をとる原子層材料であり、非常に高い電気伝導度と熱伝導度、機械的強度を有する。グラフェンの熱伝導はフォノンが担っているため、フォノンの伝搬を抑制することで、熱伝導度を制御することが可能である。本研究では、炭素の異なる同位体 ( $^{12}\text{C}$  or  $^{13}\text{C}$ ) により合成したグラフェンの界面を利用し、界面でのフォノンの散乱による熱伝導制御について検証した。

異なる同位体から構成されるグラフェンの界面は、ラマン分光法、および電気特性から評価した。欠陥の有無を示すラマンピークから、顕微鏡レベルでの良好な界面接合を確認した。これは界面の有無に対して、抵抗や移動度がほとんど変化しない電気伝導特性からも裏付けられた。一方、熱伝導特性からは、界面で熱の伝導が著しく低下していることが示された。本講演ではこれらを中心に、グラフェンの熱伝導制御について述べる。

## 1 原子・1 分子接合の熱電特性

### Thermoelectricity in Single Atomic and Single-molecule Junctions

○谷口正輝 (大阪大学産業科学研究所)

○Masateru Taniguchi (The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University)

E-mail: taniguti@sanken.osaka-u.ac.jp

車やPCで発生する熱エネルギーを電気エネルギーとして再利用することを大きな課題として、高効率な熱電変換素子の開発が行われている。変換効率は、熱電性能指数で評価され、高い電気伝導度、高い熱起電力、低い熱伝導度が理想的な熱電変換素子である。このような性能を実現する材料の設計指針は、電子は結晶状態、フォノンはガラス状態であるが、これらは相反する性質である。1原子・1分子接合では、電子伝導機構がトンネル伝導であるため、高い電気伝導度と高い熱起電力が期待される。一方、電極と分子のフォノンエネルギーのミスマッチにより、フォノンによる熱伝導性が抑えられる結果、低い熱伝導度が期待され、1分子接合で高い熱電性能指数を実現できる可能性がある。

1原子・1分子接合の電気伝導度の計測システムである機械的破断接合(MCBI: Mechanically Controllable Break-Junction)にマイクロヒータと温度計を組み込んだ計測系を開発した。この計測システムを用いることで、金電極に接合された金単原子接合と、ベンゼンジチオール単分子接合の電気伝導度と熱起電力の同時計測を行った。

金単原子接合では、 $1G_0$ の電気伝導度と正の熱起電力が観察され、 $(n + 1/2)G_0$  ( $1G_0 = 77.5 \mu\text{S}$ )で熱起電力がピークを持つ特徴的な相関が得られた。一方、ベンゼンジチオール単分子接合の1分子電気伝導度は $0.01G_0$ であり、熱起電力は負であった。1分子接合の寿命から接合間の温度勾配を算出し、ゼーベック係数を求めたところ  $15 \mu\text{V/K}$  であった。1分子接合の電気伝導度と熱起電力が電極間距離に対して大きな変化を示し、電極間距離の制御により、高い電気伝導度と高い熱起電力の得られる可能性が示唆された。

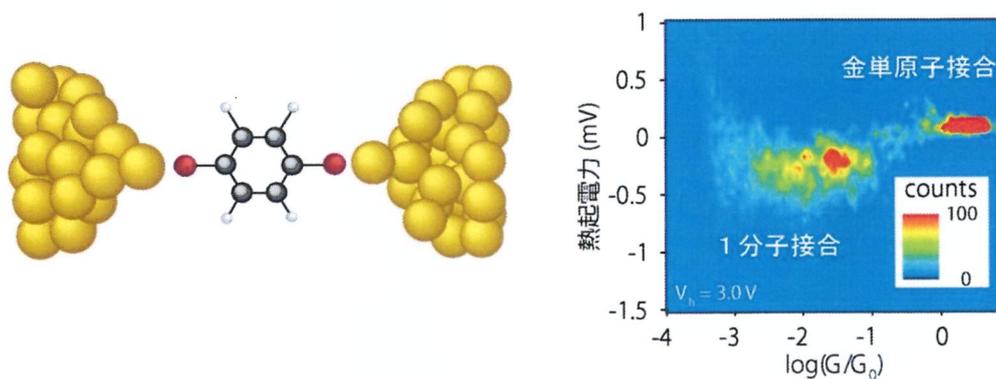


図. 1分子接合の模式図と、1分子接合のコンダクタンスー熱起電力の2次元マップ。

#### 参考文献

- [1] M. Tsutsui, T. Morikawa, A. Arima, and M. Taniguchi, *Sci. Rep.*, 3 (2013) 03326.
- [2] T. Morikawa, M. Tsutsui, and M. Taniguchi, *Nanoscale* 1 (2014) 8235.
- [3] M. Tsutsui, T. Morikawa, Y. He, A. Arima and M. Taniguchi, *Sci. Rep.*, 5 (2015) 11519.

## MEMS 振動型エネルギーハーベスタの開発

### Vibration MEMS Energy Harvester

○藤田孝之（兵庫県立大学大学院工学研究科）

○Takayuki Fujita (Graduate School of Engineering, University of Hyogo)

E-mail: fujita@eng.u-hyogo.ac.jp

IoT (Internet of Things: モノのインターネット化)や Trillion Sensors Universe (毎年一兆個のセンサが使用される社会) が注目を集めており、あらゆるモノにワイヤレスセンサが内蔵されネットワーク接続される社会の実現が近づいている。そのキーデバイスとして、メンテナンスフリーの自立電源であるエネルギーハーベスタ (EH) が注目されている。本講演では、我々が開発中の MEMS 振動型 EH のなかでも、特にエレクトレット静電誘導式を重点的に紹介する。静電式は電荷を蓄えた絶縁体 (エレクトレット) と、それに対向した電極で形成される空気キャパシタ容量を外部振動により変化させることで誘起される電荷を移動させる。この電荷移動を外部負荷に取り出すことで交流電流を取り出すのが基本発電原理である。我々の研究では、IoT 応用に不可欠な仕様として、MEMS 技術による大量生産が可能なること、電子部品としての利用を想定した解析・評価システムの確立、の2点に注目して開発を行なっている。独自アイデアを盛り込むことで、直径4インチのシリコンウエハ上で12mm角の発電デバイスを大量生産するMEMS技術を確立し、20 $\mu$ W以上の発電に成功した。さらにEHの等価回路モデルを、電子回路シミュレータ (LTSpice) 用に作成し、任意の振動加速度に対する発電電力が簡単に求まる解析システムも確立している。図1に完成した静電式EHを示す (サイズ12 $\times$ 12 $\times$ 1.2 mm<sup>3</sup>)。図2に示すSPICE等価回路モデルは、左から(a) バネ-マス-ダンパ系等価回路、(b) EH発電機構等価回路、(c) 市販のEH用電源制御IC (LTC3588-1)の順に接続されており、入力加速度に対応する任意の電圧を(a)に与えると、運動方程式に応じたマスの位置電圧が出力される。これを次段の(b)EH発電機構等価回路に入力すると、容量変化とエレクトレットの荷電電圧の関係から発電電流が求まる。最後に(c)電源制御ICに入力することで、電源となる直流電圧が求まる。同SPICEモデルと実測結果は非常によく一致しており、誰でも簡単にSPICEシミュレータを使うだけで、EHからの出力が検証できるようになった。本研究がEH応用拡大に役立てば幸いである。

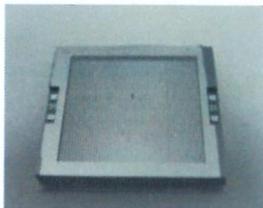


図1 静電式EH写真

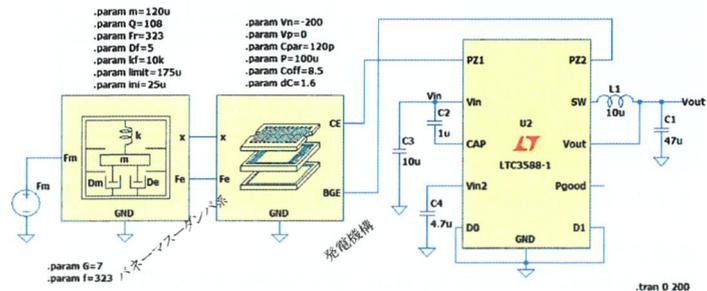


図2 SPICE 等価回路モデル例

## 高性能塗布型有機トランジスタと論理回路・センサへの応用

### High-performance solution-processed organic transistors and their applications to logic circuits and sensors

○宇野 真由美 (大阪府立産業技術総合研究所)

○Mayumi Uno (TRI Osaka) E-mail: uno@tri-osaka.jp

近年、IoT(Internet of Things)と呼ばれる社会的インフラが整いつつあり、あらゆるモノがインターネットに接続され、個々の情報を交換し合うセンサネットワークが社会基盤の様々な分野において構築されるなかで、今後ますます、低コストで小型、省電力のセンシングデバイスの重要性が高まってくると考えられる。有機分子を半導体層に用いる有機半導体デバイスは、塗布法、印刷法といった室温付近の低温プロセスを用いて、非常に簡便な手法で作製できるため、製造設備の大幅な省電力化、低コスト化が可能である。また、低温プロセスを用いてプラスチック基板上へも素子を作製でき、自由曲面にも設置可能なフレキシブルなデバイスを実現できることから、将来のエレクトロニクス産業を担う重要な技術となることが期待される。中でも有機半導体トランジスタ(OFETs)は、論理回路を構成する要となる素子であり、例えば工場やプラント等における環境計測や、物流時の環境モニター等に必要となるセンサの駆動素子として重要な素子である。従来は、短チャネル・高移動度の有機トランジスタの作製が困難であったため、その応答速度が限られていたが、我々のグループで  $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超える高移動度の有機結晶膜[1]の塗布法と、有機結晶膜への電気化学的なダメージを極力低減させた微細加工プロセス[2]を開発することにより、 $20 \text{ MHz}$  近くの応答速度をもつ塗布型高速有機トランジスタを実現することができた。本技術を用いて  $13.56 \text{ MHz}$  を超える周波数の交流信号でも整流可能な、世界初となる塗布型有機整流素子や、p 型用分子と n 型用分子とを組み合わせた有機高速 CMOS 回路等を実現した。本発表ではこれまでに研究開発を行ったこれらの要素技術と、有機論理回路への応用例(Fig. 1)、フレキシブルな温度センサへの応用(Fig. 2)等について紹介する。

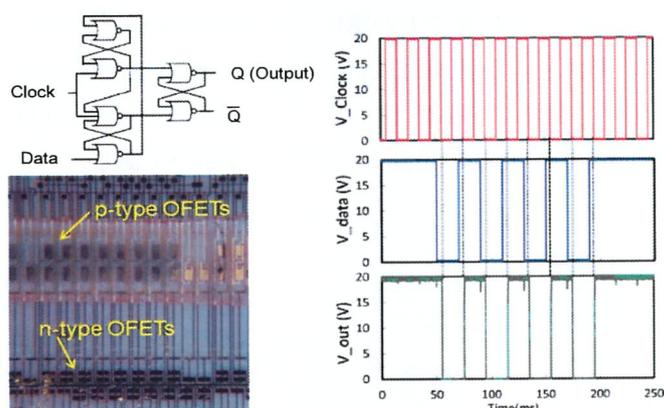


Fig. 1 作製した有機 CMOS フリップフロップ回路とその出力

#### 参考文献

- [1] C. Mitsui, T. Okamoto, *et al*: Adv. Mater. **2** (2014) 4546.  
 [2] N. Nakayama, M. Uno, J. Takeya, *et al*: Adv. Mater. Interfaces **1** (2014) 1300124.



Fig. 2 導電性高分子を用いたフレキシブル温度センサ

## ポスター発表要旨

**P-1 グラフェンの合成とデバイス性能に水分が与える影響**

井上雅文、安野裕貴、竹内雅人、竹井邦晴、松岡雅也、秋田成司、有江隆之  
大阪府立大学

次世代トランジスタのチャネル材料として期待されているグラフェンの合成は、主に化学気相成長法（CVD法）を用いて行われる。しかし、CVD法は様々な外的要因により影響を受け、質の良い単層グラフェンやバンドギャップを開けることの出来る二層グラフェンの再現良い合成が課題となっている。本研究ではCVD中の水分量を制御することにより、水分がグラフェン合成に与える影響を調べた。水分子は二層グラフェンの合成とグラフェンの移動度に影響することが判明した。

**P-2 歪みが印加されたグラフェンの熱伝導率測定に向けた構造提案**

今北悠貴、安野裕貴、竹井邦晴、秋田成司、有江隆之  
大阪府立大学

優れた熱特性を有するグラフェンをフレキシブルデバイスに応用する際、必然的にグラフェンに歪みが生じる。歪みによる熱特性の変化を調べることは重要であるが、歪みの印加と熱伝導率の同時測定は困難であり、これまで行われていない。本研究ではグラフェンに歪みを印加することが可能で、かつその量を変化させつつ熱伝導率を測定できる構造を提案する。

**P-3 欠陥によるグラフェンのゼーベック係数の影響**

安野裕貴、竹井邦晴、秋田成司、有江隆之  
大阪府立大学

優れた電気・熱特性を有するグラフェンは、その欠陥状態によってそれらの特性を大きく変化させることができる。特に熱伝導率に関して見ると、欠陥によって1/10以下に下げることが容易である。本研究では欠陥を増やしていった際のゼーベック係数のフェルミ準位依存性を調べることで、グラフェンのゼーベック係数の欠陥依存性を調べた。その結果、欠陥密度の制御により熱電性能の向上につながることを明らかにした。

**P-4 グラフェンナノメッシュ構造による熱輸送制御**

関口卓弥、安井悠馬、安野裕貴、竹井邦晴、秋田成司、有江隆之  
大阪府立大学

近年、グラフェンは優れた物理的特性を備えていることからエネルギー材料などへの応用が期待されている。特に、高い熱伝導度を自在にコントロールできれば、熱マネジメント材料への応用も考えられる。我々は熱輸送制御に向けて、周期的に空孔を導入したグラフェンナノメッシュを作製し、それを架橋構造にすることに成功した。また、空孔の有無がグラフェン中の熱輸送にどのような影響を与えるのか、作製した架橋構造を用いて解析を行った。

**P-5 ディラック電子をキャリアとする電界効果トランジスタのスイッチング性能に関する理論解析**

田中未来、笹岡健二、小川真人、相馬聡文

神戸大学

近年、FET の新規材料としてグラフェンが注目されている。グラフェンはフェルミエネルギー近傍で質量ゼロのディラック電子としてふるまうが、本研究では基盤の影響に起因して有限バンドギャップを持ったグラフェン状物質をチャンネル材料に用いた場合の FET の特性について理論計算を行う。そのようなグラフェン状物質はフェルミエネルギー近傍では有限質量ディラック電子としてふるまう。そこで、有効方程式がディラック方程式に従う場合とシュレディンガー方程式に従う場合について性能比較を行う。

**P-6 単分子接合の形成機構**

谷本幸枝、森川高典、有馬彰秀、筒井真楠、谷口正輝

大阪大学産業科学研究所

当研究室では微細加工技術を利用した分子サイズのギャップを持つ  $\text{SiO}_2$  絶縁膜付 Au 電極対を作製し、単分子の電気伝導計測を行っている。本研究では電極間の距離を 1 nm 付近の範囲で変化させて単分子電気伝導計測を行い、検出されるコンダクタンス値の電極間距離依存性について調べた。その結果、安定したコンダクタンス状態が得られる電極間距離は分子毎に異なることが分かった。本結果は今後の単分子デバイス作製プロセス開発において有効に活用できると考えられる。

**P-7 Vapor Liquid Solid 機構で成長したシリコンナノワイヤーの電気的特性評価**

池田和真、喜多一平、冬木 隆

奈良先端科学技術大学院大学

高効率な太陽電池構造の実現を目指し、シリコンナノワイヤー (Si-NW) の電気的特性の評価を行った。Si-NW を太陽電池に応用するためには、Si-NW のドーピング濃度評価方法の確立が不可欠である。そこで、本研究ではナノプローバーを用いて単一 Si-NW の電流-電圧特性の測定を行い、ドーピング濃度評価を試みた。その結果、Si-NW 由来の抵抗率を算出してドーピング濃度を見積もる事に成功した。

**P-8 粉末溶融法で作製した球状 Si 太陽電池の微細構造解析**

白幡泰浩<sup>1</sup>、張 彬<sup>1</sup>、奥 健夫<sup>1</sup>、金森洋一<sup>2</sup>、室園幹夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>滋賀県立大学、<sup>2</sup>株式会社クリーンベンチャー21

球状 Si 太陽電池は、pn 接合を形成した直径 1 mm の Si 球を反射カップ上に多数配置することで構成されている。球状 Si 太陽電池の変換効率向上には、Si 球や反射防止膜の微細構造について詳細に調査する必要がある。本研究では、粉末溶融法で作製した Si 球および Si 球上に製膜した  $\text{SnO}_x\text{:F}_y$  薄膜の微細構造について解析することを目的とし、X 線回折、走査型電子顕微鏡を用いて解析した結果について報告する。

**P-9  $\text{FeS}_2$  薄膜太陽電池のデバイスモデルの確立を目指したシミュレーションによる素子構造の探索**

内山俊祐、石河泰明、浦岡行治

奈良先端科学技術大学院大学

$\text{FeS}_2$  pyrite は高い吸収係数かつ豊富な資源といった優れた特徴を持っており、次世代の薄膜太陽電池材料として注目されているが、未だに変換効率を得られていない。変換効率を得られていない原因を探る一つの手法として、シミュレーションによるデバイスモデル確立が挙げられる。そこで、本研究では従来報告されているデバイス及び、従来とは異なるデバイスの特性評価をデバイスシミュレーションより行い、高効率を得る為に必要とされる条件を検討した。

**P-10 電気化学発光セルの陰極電極が発光特性に与える影響**

劉 洋<sup>1</sup>、石河泰明<sup>1</sup>、三輪一元<sup>2</sup>、小野新平<sup>2</sup>、浦岡行治<sup>1</sup>

<sup>1</sup>奈良先端科学技術大学院大学、<sup>2</sup>電力中央研究所

電気化学発光セル (LEC) は OLED デバイスと比べて、発光層が単層と構造が単純化されており、更なる低コストを実現する発光デバイスとして注目されている。LEC は、低電圧駆動が可能で、発光ポリマーの膜厚依存性が低いなどのメリットも有している。一般的に LEC は電極材料の選択制が広いと考えられているが、電極材料による発光特性依存性は十分明らかになっていない。本研究は、電極材料の仕事関数が発光に利用されるキャリア注入に影響すると考え、様々な電極材料に対しての発光特性を調査した。

**P-11 銀析出型 EC 素子に向けた多孔質 AZO 電極の作製と評価**

岡 瑞樹、木下和俊、稲田 貢、齊藤 正

関西大学

電氣的に「無色⇄黄色」が切り換わる銀析出型 EC 素子は、電子ペーパーのフルカラー化に利用可能である。しかし現状では、EC 素子が黄色に発色するために、高価な多孔質 ITO 電極が使用されている。そのため、多孔質 ITO 電極を用いた EC 素子の実用化は困難だと考

えられる。そこで我々は、スパッタ法によって安価で多孔質な AZO 電極の作製を試みた。その結果、スパッタ時のガス圧と  $N_2$ - $H_2$  ガス中での熱処理温度を最適化することによって、電極の多孔質化と低抵抗化を両立することに成功した。

#### P-12 酸素プラズマを用いた金属チタンの酸化による光触媒材料の形成

山田将司、柳沢淳一

滋賀県立大学

Ge 結晶表面に高エネルギー集束 Ga イオンビームを照射することで 100 nm 径程度のスポンジ形状をした大きな比表面積を持つナノ多孔構造が形成されるが、その表面を二酸化チタンで覆うことで光触媒機能の向上による省エネ化を狙った。多孔構造全面を最初から二酸化チタンで覆うことは難しいため、本研究では金属 Ti をコートしてから酸素プラズマによる酸化を試み、平面に形成した Ti 膜への異なる酸化条件による酸化膜の結晶性を XRD で評価した。

#### P-13 熱流束測定を通じたプラズマジェットの特性研究

陳 健、松浦寛人、秋吉優史、奥田修一

大阪府立大学大学院

大気圧プラズマジェットの動作ガスにアルコールを添付した影響を調べている。ジェットの先にアルミのターゲットを設置し、ターゲットの温度変化からプラズマ熱流束を調べている。アルコールを添付するとジェットの長さは短くなり、熱流束は小さくなる。ターゲットと線源の距離を近くなればなるほどノイズを現れて、熱量は大きくなる傾向を分かり、不安定のデータを測定された。

#### P-14 TADF 材料の発光緩和過程における高次三重項励起状態の影響

高木絢生<sup>1</sup>、長谷山翔太<sup>1</sup>、丹羽顕嗣<sup>1</sup>、小林隆史<sup>1,2</sup>、永瀬 隆<sup>1,2</sup>、合志憲一<sup>3,4</sup>、  
安達千波矢<sup>3,4</sup>、内藤裕義<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>大阪府立大学、<sup>2</sup>分子エレクトロニックデバイス研、<sup>3</sup>九州大学、<sup>4</sup>JST-ERATO

我々はこれまでに、緑色発光を示す熱活性化遅延蛍光(TADF)材料である 4CzIPN の発光特性は、最低次の一重項励起状態  $S_1$  と三重項励起状態  $T_1$  に加えて、さらに高次の三重項励起状態  $T_n$  を考慮することで矛盾なく説明できることを報告した。本研究では、4CzIPN に限らず他のカルバゾールジシアノベンゼン系 TADF 材料において、この  $T_n$  準位を考慮したモデルが普遍的に成り立つことが分かったので報告する。

**P-15 新しい評価法による有機薄膜太陽電池の輸送メカニズムの解明**

成岡達彦<sup>1</sup>、永瀬 隆<sup>1,2</sup>、小林隆史<sup>1,2</sup>、内藤裕義<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>大阪府立大学、<sup>2</sup>分子エレクトロニックデバイス研、<sup>3</sup>JST-CREST

有機薄膜太陽電池(OPV)は安い、軽い、曲げられるという利点を有し次世代太陽電池として期待されている。OPVの実用化に必要な電力変換効率の向上のためには、無機の太陽電池を手がかりにキャリアの移動度や寿命の評価が重要となる。しかし、OPVの発電層は極めて薄く、従来の測定法では測定が困難であった。そこで本研究ではこのような薄膜でも評価が可能な変調分光法に着目し、光を用いてOPVの移動度や寿命の解析が可能な測定法を開発した。

**P-16 逆構造有機薄膜太陽電池の効率向上メカニズム**

村田憲保<sup>1</sup>、米川 穰<sup>1</sup>、杉山拓也<sup>1</sup>、永瀬 隆<sup>1,2</sup>、小林隆史<sup>1,2</sup>、内藤裕義<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>大阪府立大学、<sup>2</sup>分子エレクトロニックデバイス研、<sup>3</sup>JST-CREST

我々は電子注入層として polyethyleneimine (PEI) を用いた逆構造有機発光ダイオードの電子物性評価を行い、その結果 PEI には、(1) 陰極に用いる金属酸化物表面の表面状態を passivate する(2) 金属酸化物/有機半導体間の注入障壁を低下させる(3) 金属酸化物/有機半導体界面で正孔をブロックする機能があることがわかった。そこで PEI を用いて逆構造太陽電池(iOPV)を作製したところ、この効果より PEI を用いない素子では 6.27%であった PCE が PEI 層を用いた素子では 7.51%に向上した。

**P-17 インピーダンス分光を用いた有機半導体素子の電荷寿命評価法の開発**

**-電荷寿命を支配する離散準位の検出-**

高木謙一郎、永瀬 隆、小林隆史、内藤裕義

大阪府立大学

インピーダンス分光により半導体の電子物性を特徴付ける重要な物理量である電荷寿命を決定する手法を開発した。これにより、従来測定法では原理的に困難であった実用的な半導体薄膜での電荷寿命評価が可能になった。本手法が様々な有機半導体素子に適用可能であることを実証した。さらに、電荷寿命を支配する深い離散準位の存在を検出する方法を提案し、その有用性を実証した。

**P-18 インピーダンス分光法によるナノポーラス酸化チタンの電荷移動度評価**

青野正規<sup>1</sup>、高木謙一郎<sup>1</sup>、永瀬 隆<sup>1,2</sup>、小林隆史<sup>1,2</sup>、内藤裕義<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>大阪府立大学、<sup>2</sup>分子エレクトロニックデバイス研、<sup>3</sup>JST-CREST

ナノポーラス酸化チタン(por-TiO<sub>2</sub>)は色素増感太陽電池の電子輸送層として広く用いられているが、その電荷輸送機構に関しては十分に理解されていない。電子輸送を特徴づける物理量としては、電子移動度、局在準位分布等が挙げられるが、特に por-TiO<sub>2</sub> の電子移動度

に関しては様々な値、温度依存性が報告されている。本研究ではインピーダンス分光法(IS法)を用いることにより、por-TiO<sub>2</sub>の電子移動度、局在準位分布の評価を行った結果を報告する。

### P-19 Perovskite系太陽電池におけるCH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>化合物への13族及び15族元素添加効果

大石雄也、奥 健夫、鈴木厚志  
滋賀県立大学

近年研究が盛んに進められているPerovskite系太陽電池において、CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>のPb代替元素として同じ14族元素のSnを添加した報告はあるが、その他の元素についての報告は少ない。本研究では、13族及び15族元素をPb位置に添加した場合のPerovskite系太陽電池の光起電力特性と微細構造の相関を調べることを目的とした。15族元素であるアンチモン(Sb)を添加することにより、光電変換効率の向上を確認することができた。

### P-20 フタロシアニンをホール輸送層に用いたペロブスカイト系太陽電池

岡田祐基<sup>1</sup>、大石雄也<sup>1</sup>、鈴木厚志<sup>1</sup>、山崎康寛<sup>2</sup>、奥 健夫<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>滋賀県立大学、<sup>2</sup>オリエン特化学工業(株)

Spiro-OMeTADにフタロシアニン(Pc)を添加したペロブスカイト系太陽電池を作製し、フタロシアニン添加効果について調べることを目的とした。洗浄したFTO基板にCompact TiO<sub>2</sub>、Mesoporous TiO<sub>2</sub>、ペロブスカイト化合物、GePc添加 spiro-OMeTAD、Auを製膜し太陽電池デバイスとし、J-V特性評価等を行った。今回GePcを添加することにより、光電変換効率の上昇を確認することができた。

### P-21 マルチデッカー型金属フタロシアニン錯体の電子構造と磁氣的性質 における中心金属と共役系の影響

鈴木厚志、奥 健夫  
滋賀県立大学

マルチデッカー型金属フタロシアニン錯体の電子構造と磁氣的性質を量子化学計算法により予測し、中心金属と共役系の影響について検討を行った。フロンティア軌道付近の電子密度分布、エネルギー準位、<sup>13</sup>C-NMRのケミカルシフト、gテンソル、電場勾配のVテンソル、励起過程、吸収波長は、中心金属・配位子付近の歪み、フタロシアニン環のπ軌道とd軌道との相互作用や四重極相互作用により影響された。

## P-22 スパッタリング製膜した $\text{SnO}_x$ のアニールにより作製した p チャネル薄膜トランジスタ

小川洗貴<sup>1</sup>、森井康貴<sup>1</sup>、北村雅季<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>神戸大学、<sup>2</sup>東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構

本研究では Sn ターゲットからの反応性 RF スパッタリングにより  $\text{SnO}_x$  を製膜し、さらにアニールを行うことにより  $\text{SnO}_x$  をチャネル層とする薄膜トランジスタを作製した。アニールを行わない試料では金属的な電流電圧特性を示し、適度なアニール条件では p チャネルトランジスタの特性を示した。膜特性はスパッタリング時の酸素分圧や RF パワーに依存し、また、200°C 程度のアニールで得た p チャネルトランジスタは約  $1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  の電界効果移動度、 $1 \times 10^3$  以上の on/off 比を示した。

## P-23 酸素プラズマ処理による DNNT トランジスタの閾値電圧への影響

木谷朝陽<sup>1</sup>、木村由斉<sup>1</sup>、北村雅季<sup>1,2</sup>、荒川泰彦<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>神戸大学、<sup>2</sup>東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構、

<sup>3</sup>東京大学生産技術研究所

大気中で安定な DNNT を用いて有機 PMOS を作製し、回路応用へ向けて、特に閾値電圧について詳しく調査した。そして酸素プラズマをゲート絶縁膜表面に曝すことで、DNNT TFT において閾値電圧の制御に成功した。この変化は酸素プラズマにより絶縁膜に生じた負の固定電荷が原因であると推測でき、閾値電圧はプラズマ時間に依存することも分かった。この方法により作製した TFT を用いて E/D 型 MOS インバータを作製し、インバータ動作に成功した。

## P-24 強誘電体における電気熱量効果の直接測定

松下裕司、後田敦史、小前智也、吉村 武、藤村紀文

大阪府立大学

電気双極子を有する物質に断熱下で電界を印加・除去すると、温度が可逆的に上昇・低下する。これは電気熱量効果(EC 効果)と呼ばれ、小型で高効率な固体冷却素子としての応用が可能であり、近年注目を集めている。本研究では、強誘電体における EC 効果に注目し、 $\text{BaTiO}_3$  セラミックにおいて  $\Delta E = 4.55 \text{ kV/cm}$  印加時に  $\Delta T = 0.25 \text{ }^\circ\text{C}$  の温度変化を確認した。発表では強電界印加に有利な、強誘電体薄膜における EC 効果について議論する。

## P-25 低消費電力不揮発性メモリに向けた強誘電体/極性半導体ヘテロ接合の作製

後田敦史、山田裕明、小前智也、吉村 武、藤村紀文

大阪府立大学

強誘電体トンネル接合素子は、自発分極の方向によってトンネル電流の変調が可能であり

不揮発性メモリへの応用が期待されている。本研究では強誘電体/極性半導体ヘテロ界面におけるそれぞれの分極によるキャリア変調効果に着目した。強誘電体  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$  (BCT)と極性半導体  $\text{ZnO}$  を用いて、(111)[110]BCT|| (0001)[ $\bar{1}$ 100]ZnO のエピタキシャル関係で格子整合成長したヘテロ界面の作製を行ったが、製膜した BCT は(001)配向のみであった。そこで  $\text{ZnO}$  表面の原子配列を変化させるために $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$  再構成表面を利用した結果、極性の異なる  $\text{ZnO}$  上への(111)BCT の製膜に成功した。

#### P-26 強誘電体薄膜の格子整合成長に向けた新規下部電極の作製

山下紘誉、荒牧正明、吉村 武、藤村紀文

大阪府立大学

強誘電体を用いた圧電 MEMS 振動発電素子は、比較的大きな電力が得られる環境発電素子として注目されている。高い変換効率を得るには圧電体薄膜の高性能化が不可欠であるが、薄膜の圧電特性を低下させる要因の一つに、薄膜と下部電極との格子不整合がある。そこで本研究では、強誘電体薄膜の格子整合成長を可能にする導電性酸化物として $(\text{Ba},\text{La})\text{SnO}_3$ に着目した。スパッタ法を用いた薄膜の作製とその電気特性について発表する。

#### P-27 Growth and electrical characterization of $\text{BiFeO}_3$ based piezoelectric films

Choi Jin Hong, Takeshi Yoshimura, Norifumi Fujimura

Osaka Pref. Univ.

Piezoelectric films are expected to be utilized widely in sensors and energy harvesters. We have reported that the electromechanical coupling of  $\text{BiFeO}_3$  thin films is comparable to that of PZT. This is a promising result for developing lead-free piezoelectric films. In this study, thin films of solid solution of  $\text{BiFeO}_3$  and other perovskite ferroelectric are fabricated by sputtering and the electrical properties are investigated.

#### P-28 強誘電体薄膜の圧電特性におけるドメイン壁の寄与

荻谷健人、吉村 武、藤村紀文

大阪府立大学

強誘電体薄膜の正圧電応答は、センサや振動発電素子などで用いられ高い応用的価値を有しているが、逆圧電応答に比べると報告例が少なく、その発現の機構について十分には理解されていない。我々は、 $\text{BiFeO}_3$  薄膜を用いて、マクロ領域からの正圧電応答と微小領域の逆圧電応答の比較から、 $71^\circ$ ドメイン壁が正圧電応答に大きく寄与すること提案してきた。本研究では正圧電効果を用いた新規な圧電応答顕微鏡法を開発し、従来の逆圧電効果による観察を組み合わせることでドメイン構造と正圧電応答の関係を解析する。

**P-29 圧電 MEMS 振動発電素子の高出力化に向けた検討**

荒牧正明、荻谷健人、村上修一、吉村 武、藤村紀文

大阪府立大学

我々は、圧電 MEMS 振動発電素子の開発を行っており、約  $10 \mu\text{W}/\text{mm}^2/\text{G}^2$  の規格化発電量を報告している。しかし、実際の片持ち梁構造の素子に大きな加速度を印加すると、幾何学的非線形効果により規格化発電量が低下することが明らかになっている。本研究ではその課題を解決する方法について有限要素法、及び理論方程式を用いて検討した。0.3G 以下の印加加速度では幾何学的非線形効果が小さい素子の設計が可能であり、 $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  程度の発電量が期待できることがわかった。

**P-30 Development of efficient piezoelectric energy harvester for human motion**

Ali Mohamed<sup>1,2</sup>, Takeshi Yoshimura<sup>1</sup>, Norifumi Fujimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Osaka Pref. Univ., <sup>2</sup>Minia Univ.

Efficient vibrational energy harvesting system for low frequency application is developed based on bi-stable structure. The approach is the introduction of a buckled beam by axial restraint to the piezoelectric harvesters. The structural parameters to obtain the snap-through action of bi-stability from human motion are investigated from the effect of the axial restraint on the mechanical response. The benefits of the bi-stable structure to the efficiency, output power and frequency bandwidth are discussed.

**P-31 圧電効果による靴発電の検討**

柿原凌汰、荻谷健人、吉村 武、芦田 淳、藤村紀文

大阪府立大学

人間の動きを利用したエネルギーハーベスティング技術は、ウェアラブルデバイスの電力源として期待されている。特に足の動作が着目され、靴発電デバイスの試作例は多数ある。しかし、報告されている発電量は、靴で得られたエネルギーの何%が変換されているのかは明らかになっていない。そこで、本研究では歩行時に靴で発生するエネルギー量を計測し、効率的に電力に変換するのに適した圧電材料および素子構造について考察する。

### 賛助会員

応用物理学会関西支部の本事業活動に関し、下記賛助会員各位よりご支援を頂いております。ここに社名を記載させて頂き、感謝の意を表します。

エア・ウォーター(株)

(株)大阪真空機器製作所 堺工場

京セラ(株)

(株)神戸製鋼所 技術開発本部

(株)島津製作所

シャープ(株) 研究開発本部

新日鐵住金(株) 技術開発本部 尼崎研究開発センター

住友電気工業(株)

東京エレクトロン(株)

東京応化工業(株)

ネオアーク(株)

パナソニック(株) 全社 CTO 室 技術渉外部

(株)フジキン

三菱電機(株) 先端技術総合研究所

(株)村田製作所

(株)リガク

ローム (株)

(2016年1月8日現在、50音順)