

## 可視光を利用して巨大な電圧を発生する強誘電体デバイスを開発 —1000 ボルトを超える巨大電圧の発生に向けて—

### 1. 発表者：

野口祐二（東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻 准教授）  
井上亮太郎（研究当時：東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻 特任研究員  
現：日本大学医学部物理学分野 助教）  
宮山 勝（東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻 教授）

### 2. 発表のポイント：

- ◆可視光を利用して 23 ボルトの高電圧を発生するデバイスの開発に成功。
- ◆強誘電体（注1）の分極界面が、高電圧を発生する光電変換場であることを証明。
- ◆原理的には 1000 ボルトを超える巨大電圧の発生も可能であることから、従来に無い光電変換デバイスの可能性を開拓。

### 3. 発表概要：

東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻の野口祐二准教授、井上亮太郎特任研究員（研究当時）、宮山勝教授らの研究グループは、可視光の照射により 23 ボルトの高電圧を発生する強誘電体デバイスの開発に成功した。強誘電体（図1）がもつ厚さ数ナノメートルの分極界面（注2、図2）が、高電圧を発生する光電変換場であることを証明し、さらなる構造の制御により、原理的には 1000 ボルトを超える巨大な電圧が得られる可能性があることを明らかにした。本研究で得られた分極界面制御による光電変換機能の増強は、酸化亜鉛や窒化ガリウムなど、他の分極性材料（注3）へも展開できるだけでなく、従来の半導体太陽電池との融合により、発電効率の向上も期待される画期的な研究成果である。今後、太陽光を利用して高電圧を発生する光電変換デバイス研究の推進に拍車がかかることが期待される。

### 4. 発表内容：

太陽電池として利用されている半導体光電変換デバイスにおいて発生できる電圧は、材料固有のバンドギャップ（注4）で制約されるため、最高で数ボルト程度にとどまっている。近年、強誘電体薄膜において、材料のバンドギャップの制約を打破する高電圧の発生が可能であることが報告され、強誘電体を用いた光電変換デバイスの研究開発が活発に行われてきた。しかし、その発電原理は未解明で、デバイスの設計指針も不明であるなど、様々な課題を抱えていた。

東京大学工学系研究科の野口祐二准教授、井上亮太郎特任研究員（研究当時）、宮山勝教授らの研究グループは、強誘電体の分極界面が高電圧を発生する光電変換場であるという発電原理を解明し、単結晶に可視光レーザーを照射した実証実験で、23 ボルトの高電圧を発生することに成功した。加えて、分極界面が強誘電体母結晶の約 8000 倍もの巨大な光電変換機能をもつことも明らかにした（図3）。単結晶を用いた実証実験（図1 (b)）では、電極の間隔が 0.9 mm、分極界面の間隔が 15 マイクロメートルで、23 ボルトの電圧を得ている。分極界面の間隔を 30

ナノメートル程度まで小さくできれば、原理的には 1000 ボルトを超える巨大な電圧を発生することも可能であると期待される。

本研究は、発電原理を解明し、分極界面を利用した光電変換デバイス設計指針を提案した成果と位置づけられる。一方、実証実験で使用した試料は太陽光ではほとんど発電しない。今後は太陽光をエネルギー源とした光電変換機能の研究を推進することにより、太陽光照射下で高電圧が発生可能なデバイスの開発が期待される。

本研究の成果の一部は、日本学術振興会の最先端・次世代研究開発支援プログラム（課題番号 GR026）ならびに文部科学省科学研究費補助金基盤研究 A（課題番号 26249094）の支援を受けて行われた。

## 5. 発表雑誌：

雑誌名：Scientific Reports（オンライン版の場合：10月7日）

論文タイトル：Giant photovoltaic effect of ferroelectric domain walls in perovskite single crystals

著者：Ryotaro Inoue, Shotaro Ishikawa, Ryota Imura, Yuuki Kitanaka, Takeshi Oguchi, Yuji Noguchi\*, and Masaru Miyayama

アブストラクト URL：[www.nature.com/articles/srep14741](http://www.nature.com/articles/srep14741)

## 6. 注意事項：

日本時間10月7日（水）午後18時（イギリス時間：7日午前10時）以前の公表は禁じられています。

## 7. 問い合わせ先：

東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻  
准教授 野口 祐二（ノグチ ユウジ）

## 8. 用語解説：

### （注1） 強誘電体

プラスとマイナスの電荷中心がずれていて、自発分極（ $P_s$ ）をもつ材料。中でも、電圧により  $P_s$  が反転できる材料が強誘電体（図1）である。

### （注2） 分極界面

分極方向が異なるドメインの界面（ドメイン壁）の中で、分極が180°の角度を持たない界面を指す（図2）。強弾性ドメイン壁を、ここでは分極界面と表記している。

### （注3） 分極性材料

自発分極をもつ材料を指す。焦電性材料とも呼ばれる。

### （注4） バンドギャップ

材料固有の物性値であり、絶縁性の指標である。代表的な半導体であるシリコンのバンドギャップは約1エレクトロンボルトで、シリコン半導体太陽電池では、最大で1ボルトの電圧が得られる。本研究で対象としているチタン酸バリウム強誘電体は、約3エレクトロンボルトのバンドギャップをもつ。

9. 添付資料：

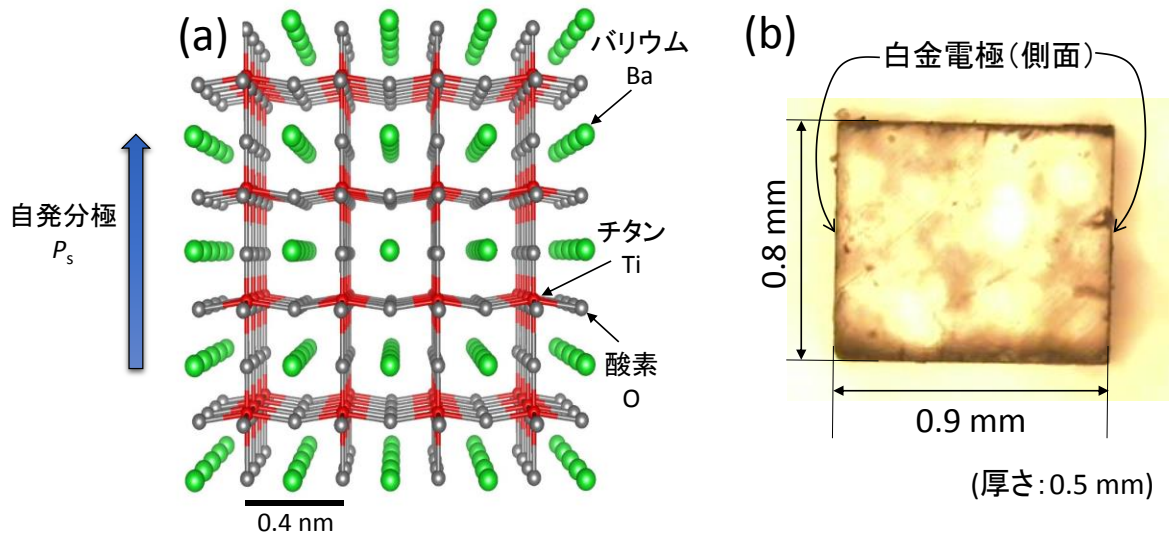


図1 強誘電体（チタン酸バリウム）の結晶構造(a)と実証実験で使した単結晶(b)。

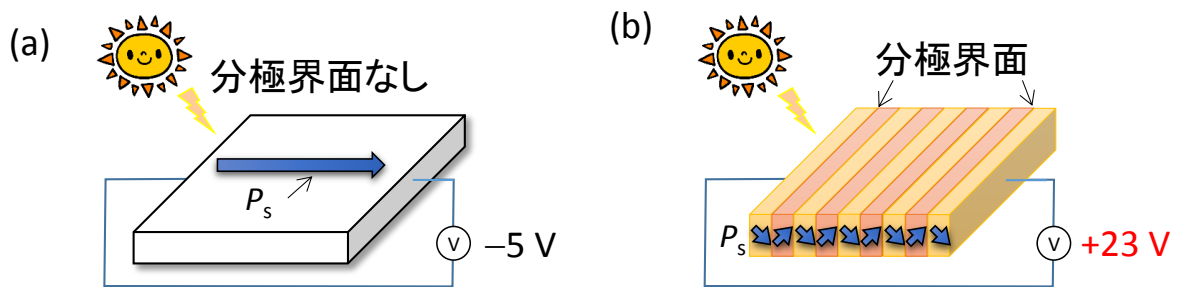


図2 強誘電体の光電効果：(a)分極界面が無い場合にはマイナス5ボルトが観測、(b)分極界面の導入により、電圧が正に反転し、プラス23ボルトの電圧が発生。

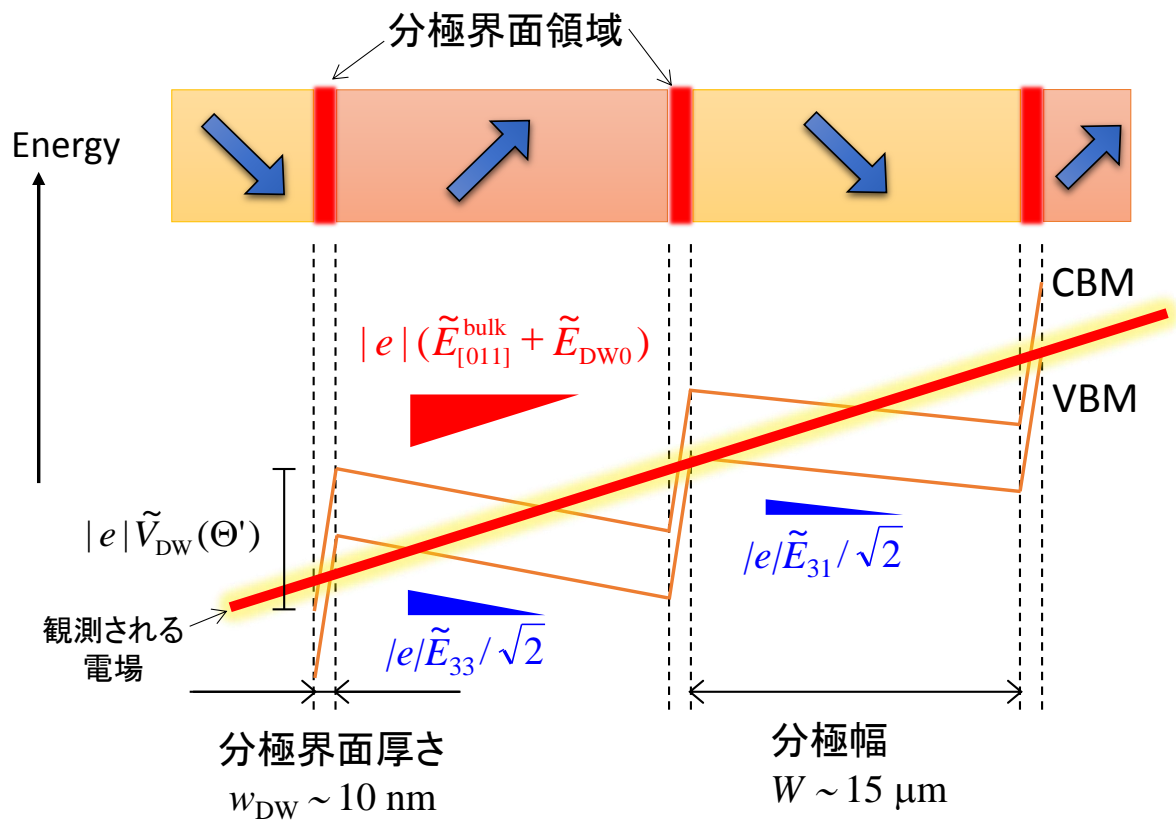


図3 分極界面における巨大光電効果の発現メカニズム。分極界面は、実際には2～10ナノメートルの厚さ ( $w_{DW}$ ) をもつ。実験で使用したチタン酸バリウム結晶における分極界面の間隔 ( $W$ ) は15マイクロメートル。光照射下における内蔵電場は、分極内部 [ $(\tilde{E}_{33} + \tilde{E}_{31})/2\sqrt{2} \sim -4.5$  V/m] に比べ、分極界面の領域 [ $\tilde{V}_{DW} / w_{DW} \sim +37.5$  kV/m ( $w_{DW} \sim 10$  nm の場合)] では8000倍も大きくなっていることが判明。CBMは伝導帯の下端、VBMは価電子帯の上端。CBMとVBMの差がバンドギャップに対応する。