

## 【基盤研究(S)】

### 大区分C



## 研究課題名 強誘電体の素励起コヒーレント状態を用いた物性評価方法の確立とデバイスへの展開

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授

ふじむら のりふみ  
藤村 紀文

研究課題番号： 19H05618 研究者番号： 50199361

キーワード： 強誘電体、素励起、急峻スイッチトランジスタ、固体熱ダイオード

#### 【研究の背景・目的】

強誘電体は、大きな誘電率を利用した超小型キャパシタや圧電性を利用したアクチュエータなど私たちの身の回りにおいて様々な形で利用されています。最近では、IoT 社会の中で利用されるセンサーやメモリ素子として、さらにエネルギーハーベスタとしての利用も検討されています。これらのデバイスは、その基礎理論として強誘電体相転移の現象論に支えられて発展してきました。一方で、強誘電体の電気分極が波動関数の幾何学的な位相に起因していることが明らかになって、理論的理解はこの25年で飛躍的に進展しました。理論の進展に呼応するように実験的にも新しい物性が見いだされており、デバイス応用が期待されています。本研究では、「超低電力で動作する急峻スイッチトランジスタ(FET)」と「電子部品を高効率に冷却する熱マネジメント素子」の2つの革新的デバイス的高速動作機構を解明し、そのデバイスデザインの指導原理を構築するために「素励起コヒーレント状態」を利用した評価方法を確立し、強誘電体の量子力学的位相界面科学の学理の構築を目指します。

#### 【研究の方法】

本研究では、強誘電体の素励起コヒーレント状態を用いた新規デバイスの動作原理とデバイスデザインを可能にする学理の構築を最終目的として、下記に示した図の様な体制で研究を推進します。

超低消費電力 IoT システムに貢献できる革新的デバイスであるにもかかわらず、その動作に関する物理描像が明らかになっていない、「負性容量効果を用いた急峻スイッチ FET」と「電気熱量効果を用いた熱マネジメントデバイス」の二つの目的を絞り、nsec オーダーの時間発展を基軸とするデバイス動作を「素励起コヒーレント状態」を用いた評価を可能にするための学理の構築を目指します。5年の研究期間を考えて、フォノンとマグノンそして熱ソリトン(熱波動)にフォーカスして研究を推進します。急峻スイッチ FET においては、強誘電体に電界を印加することによって生じる nsec 以下の速度で進行する分極反転とそれに伴うフォノン変調や半導体表面ポテンシャル変化を「素励起コヒーレント状態」を



利用して評価する方法を確立します。熱マネジメントデバイスに関しては、強誘電体内部において電気熱量効果によって生じる熱の運搬・吸熱・発熱に関するデータを素励起を用いた分極エントロピーのリアルタイム測定やシミュレーションを通して収集し、固体ヒートポンプのデバイスデザインの指導原理を構築します。

#### 【期待される成果と意義】

電氣的に測定されるデバイス物性には様々な効果が重畳しているため、その動作モデルの物理描像を明確化することが困難となり、電界強度、時定数や温度などを変化させて有効なモデルを推測します。素励起はその起源となる物理現象が明確であり、またデバイス動作の動的挙動の時間領域に素励起コヒーレント状態が存在するため、モデル検証の手法としては有効な手段です。また、これらの結果をもとに強誘電体の量子力学的位相界面科学の学理を構築できれば、デバイス物性を素励起を用いて評価・デザインする手法が明確になるだけでなく、その他のデバイスの物理現象や生命現象、社会現象などに現れる非線形力学的なふるまい、例えばリズムやカオス、またそれらの同期、多数の要素・素子の協同現象や自発的構造形成などを構築する数理モデルに明確な物理モデルを提供することが可能になり、社会への波及効果は極めて大きいと考えられます。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Time-resolved simulation of the negative capacitance stage emerging at the ferroelectric/semiconductor hetero-junction, AIP Advance, 9 (2019) 025037
- Ferroelectric Thin Films-Basic Properties and Device Physics for Memory Applications, Topics in Applied Physics vol.98, (2005) Springer
- Second Sound in SrTiO<sub>3</sub>, Phys. Rev. Lett., 99 (2007) 265502
- Light Scattering in a Phonon Gas, Phys. Rev. B, 80 (2009) 165104
- Writing and reading of an arbitrary optical polarization state in an antiferromagnet, Nature Photonics, 9(2015) 25
- Directional control of spin wave emission by spatially shaped light, Nature Photonics, 6 (2012) 662

#### 【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和5年度  
156,200 千円

#### 【ホームページ等】

<http://www.pe.osakafu-u.ac.jp/device7/>