機能性ドメイン境界の物性評価とその制御

Evaluations of Functional Domain Boundaries

H29助自107

代表研究者 横田 紘子 千葉大学 大学院理学研究院 准教授
Hiroko Yokota Associate Professor, Faculty of Science, Chiba University

Recently, domain boundary becomes one of the hot topics in ferroics. Thanks to the development of experimental techniques over the last decade, it has become clear that the domain boundaries exhibit their own physical properties which are different from those of bulks. In particular, the electrical transport properties of domain boundaries have been intensively studied in various ferroelectric oxides. Among lots of interesting physical properties observed at the domain boundaries, we are interested in the appearance of polar nature at the domain boundaries in non-ferroelectrics. We performed a second harmonic generation microscope (SHGM) observations on ferroelastic CaTiO_3 and observed a polar nature at the domain boundary. In this study, we focus to manipulate the domain boundaries by the external stimulus. A small apparatus was made for the application of compressive stress and we used this device for the further experiments. With the application of stress, domain boundaries appear from the edge of the specimen. They propagate into the middle of the specimen with increasing the stress. These newly appeared domain boundaries are examined by SHGM and we confirm that these newly appeared domain boundaries are also polar. It means that functional domain boundary can be controlled by the external stimulus and has a great potential for the applications. We also examined ferroelastic LaAlO_3 (LAO), which does not have any ferroelectric instability. We confirmed that the domain boundaries of LAO exhibits polar nature and determined the symmetry of domain boundaries as m.

研究目的

高度情報化社会を迎えた今、生成された情報量はすでに保存可能な情報量を上回っており、今後ますます情報の肥大化が進むことが予想される。このような現状の下、社会のニーズに応える為には高密度デバイスの開発が求められている。一方でバルクの性質を用いたデバイス性能向上は限界に近づいており、新しい手段による高密度化が求められている。本研究では現状を打開する手段として”ドメイン境界”に着目をした。2000年代後半になり測定

技術の飛躍的な進歩に伴い、フェロイック物質におけるドメイン境界がバルクとは異なる特性を示すことが明らかになってきた。例えば超伝導, 高い電気伝導度, 光起電力効果, 強誘電性がドメイン境界においてのみ発現することが理論・実験的に報告されており、機能性ドメイン境界が注目を集めている。これまでに申請者は光第2高調波顕微システム (SHGM) を用いることにより、バルクでは極性を示さない強弾性体チタン酸カルシウム (CaTiO_3 :CTO) のドメイン境界が極性を持つことを明らかにしてきた。強弾性体におけるドメイン境界は数格子分と非

常に狭いことから、磁性体の磁壁を利用したレーストラックメモリに類似した記憶媒体として強弾性体のドメイン境界を利用することで、より高密度デバイスを実現することが期待できる。申請者の実験結果はデバイス応用への可能性を示唆しており、ドメイン境界を利用することは現状を打開することができる有力な手段であると言える。上述のような研究背景のもと本研究では、ドメイン境界の物性評価とその制御を目的に実験を行った。これまでの研究はドメイン境界における物性評価のみに焦点が当てられているが、デバイス化の際には、情報の書き込みおよび読み込みを行う必要があり、そのためにはドメイン境界を自在に制御することが不可欠である。世界に先駆けて、ドメイン境界の制御を可能にすることで、次世代記憶媒体開発の主導権を握ることが可能となり、産業的な意義も大きいと言える。また、ドメイン境界は数格子分と非常に薄いため、グラフェンに代表されるような二次元系とみなすことができることから低次元機能性材料としても興味深いといえる。

概 要

本研究は、異なるドメインを隔てるドメイン境界に着目し、そこにおいて発現する物性、特に強誘電性に関わる極性の有無に着目し、研究を行った。ドメイン境界はこれまで2つの状態を隔てる壁として取り扱われ、その構造や物性に関しては看過されていた。しかし、近年になり、測定手段の空間分解能の著しい向上に伴い、ドメイン境界における構造や物性評価を透過型電子顕微鏡や原子間顕微鏡を用いて行うことが可能となってきた。これにより、高い電気伝導度や超伝導性、2次元ガスの存在が確認されており、バルクでは示さない特性をドメイン境界が有することが明らかとなってき

ている。本研究では、空間反転対称性および時間反転対称性の破れを敏感に感知することができる光第2高調波顕微鏡 (SHGM) を用いることでドメイン境界における極性の有無を明らかにすることを目的に実験を行った。SHGは極性の有無を判別する上で、非常に有益な手段である。これは対称性を容易に決定することができることに由来する。32存在する点群の内、21が中心対称性を有しない。これら21の点群の内、432を除く20点群は全て圧電応答を示し、かつSH活性であるが、このうち極性をもつ点群は10しか存在しない。このことから、圧電応答の存在のみから極性を議論することは十分であるとはいえず、対称性を決定することが必要不可欠であるといえる。

本研究では3つの事柄に着目し、研究を行った。(1)外部刺激によるドメイン境界制御、(2)純粋な強弾性体における極性の有無、(3)ドメイン境界の種類の評価、の3つである。

実験では、基本波として波長が1064nmのNd:YVO₄レーザーを用いた。ステップングモーター、ピエゾステージを用いることにより試料位置を操作することにより3次元観察を行うことを可能にしている。また、ポーライザーとアナライザーを配置することにより基本波と試料から発生したSH波の偏光方向を選択することを可能にし、これにより試料の対称性を決定することが可能となっている。SHGは圧電テンソルとおなじ3階テンソルによって記述することが出来ることから、結晶の対称性と密接な関係がある。このことからSH強度の偏光依存性測定を行うことにより、対称性を決定することが可能となる。

(1)外部刺激によるドメイン境界制御に関する実験を行うために、応力印加装置を自作し、試料としてチタン酸カルシウム (CTO) を用いて行った。印加する応力を大きくしてい

くと、ある応力を境に、新しいドメイン境界が発生し始めた。新しく発生したドメイン境界は、既存のドメイン境界に垂直な方向に発生した。また、この新しく発生したドメイン境界は印加する応力の大きさを増加させると試料中心部分に向かって伝搬を始めた。このドメイン境界が極性を有するのかどうかを判断するため、SHGを用いた観察を行った。その結果、応力によって発生した新しいドメイン境界も既存のドメイン境界同様にSH活性であることが分かった。さらに、偏光依存性測定を行うことによりこのドメイン境界の対称性が m であり、極性を有することが許される点群に属していることが明らかとなった。

- (2) 純粋な強弾性体における極性の有無を検証するため、 LaAlO_3 (LAO) を用いてドメイン境界の評価を行った。その結果、LAOのドメイン境界も極性を示し、またその対称性が m であることを決定することに成功した。この結果は、ドメイン境界における極性発現が多く物質に見られるユビキタスな現象である可能性があることを示唆していると言える。
- (3) ドメイン境界の種類の評価を行うため、SHGを用いて偏光依存性測定を行った。強誘電体ドメイン境界においてこれまでとは異なるNeelやBloch壁の存在が示唆されており、それらの存在を検証するために実験を行った。その結果、NeelやBloch壁ではなく、対称性の低下によってもドメイン境界において見られる極性現象を解釈することが可能であることを明らかにした。

－以下割愛－