

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13958

研究課題名(和文) 超音波弾性効果による物理多体現象の巨大スイッチング機能の開拓

研究課題名(英文) Development of switchable physical phenomena using dynamical strain effects

研究代表者

美藤 正樹 (Mito, Masaki)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60315108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、超音波を用いて、ひずみテンソルを時間的・空間的に変動させることで、定常状態とは異なる準安定状態を実現させ、多体効果を操作する技術要素の開発と確立を目指した。時間変調の分解能としては、数百kHzから数十MHzの範囲を当面の研究対象とした。さらに、技術開発だけではなく、電子デバイス創製を期待させる巨大な物理応答の発掘を目指した。

従来の超音波実験は圧電素子を用いてパルス的な超音波を印加し歪みがゼロ極限での超音波応答を調べる。その際、圧電素子は検出器の役割も果たす。一方、本手法は超音波を力学的外場のソースとしてのみ利用し、そこで電気抵抗測定なり磁気測定なりを実施する。

研究成果の概要(英文)：By modifying strain tensor from the viewpoint of time and space using ultrasonic wave, we stabilize a quasi-equilibrium state different from genuine equilibrium state, so that we lead to the development of experimental techniques to control the many-body effects. The time resolution of the structural modification covers 0.1 - 100 MHz. As the first stage, we looked for the finding of giant physical response for creation of electronic device. In previous ultrasonic experiments, the ultrasonic devices are used as both the field source and detector. There the response at the zero limit of the ultrasonic field is investigated. However, the present experiment utilizes the ultrasonic wave as the external source, and we conduct the electric and magnetic measurements.

研究分野：固体物性

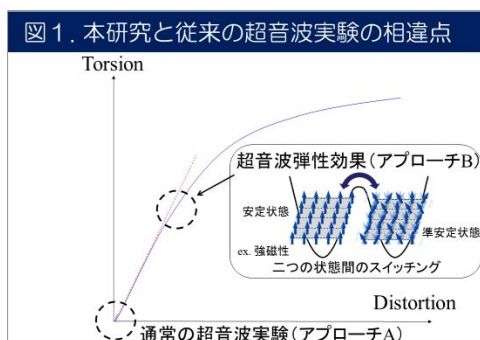
キーワード：超音波 動的歪み スwitching機構 相転移現象

1. 研究開始当初の背景

磁気相転移・超伝導転移・強誘電転移といった相転移現象や、電気伝導現象、さらには半導体特性といった電子構造に起因する“物理多体現象”は、結晶格子の並進対称性を基盤とする。つまり、結晶を歪ませたとき、上記の物理多体現象はその影響を受けることになる。しかし、相転移現象においては、これまで歪みテンソルが対角成分しか持たない静水圧力実験が注目を浴びてきた。理想的な静水圧力実験は、等方的な応力を試料に与えて、ひずみ方については試料に決めさせる方法であり、物理学的にきれいな構造変調実験と言える。一方、不純物注入によって電子状態が変化する半導体については、電子状態操作の手法としてbiaxial strainやtorsion (shear strain)に対する効果が研究されてきた。テンソル成分に大きな違いはあるものの、上述のひずみ群は時間に依存せず、そこでの応答は時間変動しない、つまり静的応答である。この静的なひずみはリアルタイムに出し入れすることが難しく、これはすなわち物理多体現象のリアルタイム操作に不向きであることを意味する。

本研究は、超音波を用いて、ひずみテンソルを時間的・空間的に変動させることで、定常状態とは異なる準安定状態を実現させ、多体効果を操作する技術要素の開発と確立を目指した。時間変調の分解能としては、数百kHzから数十MHzの範囲を当面の研究対象とした。さらに、技術開発だけでは無く、電子デバイス創製を期待させる巨大な物理応答の発掘を目指した。

なお、超音波を用いた従来の物性実験との違いを、図1を用いて説明すると、従来の超音波実験は圧電素子を用いてパルス的な超音波を印加し歪みがゼロ極限での超音波応答を調べる。その際、圧電素子は検出器の役割も果たす。一方、本手法は超音波を力学的な外場のソースとしてのみ利用し、そこで電気抵抗測定なり磁気測定なりを実施する。ここで得られた結果を、超音波伝播によるヒーティングの影響との違いを明らかにする必要がある。



2. 研究の目的

超伝導・強磁性・強誘電性のような「電子の物理多体現象」は、結晶格子の並進対称性を基盤とし、結晶を歪ませたとき多体現象は必ずその影響を受ける。そこで、本研究は、

下記の2つの目的を掲げた。

超音波帯域の弾性ひずみを格子に与えること(超音波弾性効果)によって物理多体現象を操作する研究手法の確立

超音波弾性効果を用いた巨大応答の発掘

ここで、“弾性ひずみ”とは、超音波の伝播を停止することで元々の構造状態に復元するレベルのひずみのことであり、時間変動しない残留ひずみと区別されるべきものである。

本手法では、歪んだ格子が復元する前に連続的に音波を伝播させて新たな準安定状態を実現することで物理多体現象を変化させる。ここで、我々は、高圧実験では生み出せない操作自由度を発現することを期待した。この“超音波をスイッチングの外場として利用する発想”は前例のないものであり、知的財産権の取得を目指した。この技術を次なるステージに躍進させるために、巨大応答の発掘を成功させ、更にそれを国内外に発信することで、格子変調駆動による巨大物理応答の新分野の創出を目指した。

3. 研究の方法

手始めとした研究対象は、磁気体積効果の大きな(絶縁系)強磁性体、スピン偏極強磁性体、銅酸化物超伝導体、強誘電体である。磁気・電気測定による相転移追跡に加え、同じひずみ条件下での構造解析を行い、そこで起こる物理現象操作における構造との相関を追跡した。具体的には、格子に歪みを加え、歪みテンソルを時間と空間に対して変調させ、その時の磁化・電気伝導・誘電分極なる物理量を追跡する。また、ひずみ量を構造解析実験によって定量化する。

また、温度・直流磁場・加え、光を利用し、準安定な2つの状態の間の巨大スイッチング現象を発現させるレベルまで発展させられると応用の範囲は広がるはずである。エピタキシャル膜・基板試料については、音波を指向的に伝播させ、巨大応答に有利な伝播方向を見つけることも重要である。

さらに、歪みの時間周期性を発振子の共鳴周波数(第一周波数)に限定せず、素子への印加電圧を第二周波数で変調し、スイッチングに適した歪み周波数を探求し、操作自由度の拡大を図ることも研究範囲とした。

ヒーティングによる影響を検証する手法としては、赤外線を利用した非接触式の温度測定を採用した。

4. 研究成果

ブルシアンブルー系金属錯体化合物において動的歪み効果を観測した。NMR測定で明らかになっている分子内自由度(配位子回転)と超音波周波数をマッチングさせて磁化測定をすることで、スピントロニクスオーバー

転移による磁化・温度ヒステリシスを増加させることに成功した。超音波周波数を2種類用意し、それらの結果を比較することで、上記の物理現象を明らかにした。**(学会発表)**

BドープSiウエハーの動的歪み変調効果を観測した。電気抵抗測定だけでなく、構造解析も実施し、電気特性が構造変調に起因することを明らかにした。なお、構造解析で得た情報は、動的変調時の構造の平均値と考えるべきである(論文準備中)。**(学会発表)**

音波の指向的操作を実現するために、縦振動歪み・横振動歪み素子を導入し、縦波・横波印加を伝播するシステムを開発した。単結晶試料に対する動的歪み実験に効果的である。また、動的歪み環境下でのホール測定を可能にする専用電気測定プローブの開発をした。また、ボンディング装置が利用できることになったため、微小試料への適用が可能になった。

スピン偏極強磁性体(無配向薄膜)が動的構造変調によって、数十ケルビンレベルの強磁性転移温度の低下を実現させた。この効果は、電荷移動の抑圧が原因であることを確かめるために動的歪み環境下での電気抵抗・交流磁気測定の同時測定するシステムを開発した。動的構造変調を巨大化させる一つのアプローチとして、電荷移動に起因する物理現象(たとえば強磁性転移)が有力候補になることを明らかにした。具体的には、電子散乱を増強して相転移を操作できることを実験的に明らかにした。一方絶縁系の場合には、のような分子レベルで特徴的な周波数の運動状態を利用し、外場周波数との共鳴を利用することを検討することが有効である。

キラル磁性体の横磁場印加によるキラルソリトン格子形成を動的歪みによって人為的に操作することに成功した。動的変調にも二種類の使い道があり、一種の過冷却現象を誘起の為、連続的に動的歪みを印加し続ける場合と、エネルギー障壁を越える相変化の場合、一種のエネルギー障壁操作の意味でパルス的に変調させる場合があることを明らかにした(低温国際会議2017で発表予定)。**(図書)**

動的歪み環境下でホール測定が可能な専用電気測定プローブを開発した。

動的変調実験のノウハウの一部を使用し、非接触電気伝導測定システムを構築した。強歪み材の歪み拡散現象の研究に有効であることを明らかにした。**(学術雑誌, 学会発表)**

ひずみ素子による発熱は印加電圧の2乗に比例することを複数のひずみ素子で実験的に明らかにした。この影響を各実験の結果と

比較しながら、超音波弾性効果を定量的に評価した。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Masaki Mito, Hideaki Matsui, T Yoshida, R Anami, K. Tsuruta, H Deguchi, Takashi Iwamoto, Daisuke Terada, Yoji Miyajima, and Nobuhiro Tsuji “Contactless electrical conductivity measurement of metallic submicron-grain material: application to the study of aluminum with severe plastic deformation” Review of Scientific Instruments, 査読有, Vol. 87 (2016) p. 053905/1-6, DOI: 10.1063/1.4950868

[学会発表](計4件)

柴山慶介, 鶴田一樹, 美藤正樹, 田尻恭之, Kaveh Edakati, 堀田善治 “非接触電気伝導度測定による銀のHPT加工材のひずみ拡散現象に関する研究” 日本金属学会 2016年秋期講演(第159回), 2016.9.21-23, 大阪大学(大阪府豊中市)

Masaki Mito, Masaaki Ohba “Artificial Control of Spin-crossover Phenomenon by Use of Dynamical Stress” Post-ICMM Symposium: State of the Art in Bistable Magnetic Molecules, 2016.9.10, 福岡大学(福岡県福岡市)

Masaki Mito “Contactless measurement of electrical conductivity for bulk nanostructured silver prepared by high-pressure torsion” International Workshop on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM2016), 2016, 7.28-31, 大博多ビル(福岡県福岡市)

鶴田一樹, 美藤正樹, 田尻恭之, 片宗優貴, 吉武剛 “動的な歪み印加によるp型シリコンウエハーの異常な電気特性” 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015.9.13-16, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

[図書](計1件)

鶴田一樹 博士論文 “カイラル磁性体Cr_{1/3}NbS₂におけるカイラルソリトン状態の精密磁気測定”(九州工業大学2016.3月)総ページ数111頁

[産業財産権]

取得状況(計1件)

名称: 弾性操作で駆動するスピンドバイス
発明者: 美藤正樹, 鶴田一樹, 長野琢磨, 岸

根順一郎，井上克也
権利者：国立大学法人九州工業大学、同広島
大学
種類：特許
番号：第 5975319 号
取得年月日：2016.7.29
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

美藤 正樹 (MITO, Masaki)
九州工業大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：60315108

(2) 研究分担者

田尻 恭之 (TAJIRI, Takayuki)
福岡大学・理学部・助教
研究者番号：90441740

(3) 研究協力者

鶴田 一樹 (TSURUTA, Kazuki)