

様式 F - 7 - 1

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）実施状況報告書（研究実施状況報告書）（平成29年度）

所属研究機関名称		奈良先端科学技術大学院大学	機関番号	14603
研究代表者	部局	物質創成科学研究科		
	職	助教		
	氏名	富田 知志		

1. 研究種目名 挑戦的研究（萌芽） 2. 課題番号 17K19034

3. 研究課題名 メタマテリアルとMEMSの融合による量子浮上の検証

4. 補助事業期間 平成29年度～平成30年度

5. 研究実績の概要

サブミクロン距離を隔てた金属膜の間には、量子真空効果である零点振動を起源とするカシミール力が働く。カシミール力は通常は引力であるが、特殊な誘電率・透磁率の組み合わせでは斥力が起こるとされる。カシミール斥力を用いた量子浮上は、微小電気機械システム（MicroElectro Mechanical Systems：MEMS）の低摩擦化・省エネルギー化を可能にするなど大変興味深い。しかしこれまでカシミール斥力の実験的な報告はほとんどない。本研究では誘電率と透磁率の精密制御が可能な人工構造物質（メタマテリアル）をMEMSと融合することで、MEMSカンチレバーのカシミール斥力による量子浮上を実証することを目的としている。工学的観点からは、本研究は極限微小力センサーの開発にも繋がると期待される。

初年度は、金属構造や磁性膜での実験を通じて、まずメタマテリアルのデザイン及びそれを融合するMEMSカンチレバーの仕様を検討した。これと共に、微細加工や評価に用いる要素技術について検討を行った。そしてメタマテリアルのデザインを、銀・誘電体・銀の三層膜のダブルフィッシュネット構造に決定し、それを融合するMEMSカンチレバーの仕様も決定した。また評価手法として現有の超高周波ドップラー振動計を用いることを決めた。一方、メタマテリアルとMEMSカンチレバーの特性を数値シミュレーションで予測する為に、どのようなシミュレータを導入するかを詳細に検討した。その結果、COMSOLマルチフィジクスシミュレータ（波動光学モジュール+MEMSモジュール）を導入することとした。これらにともない計算機環境、及び実験環境の整備を行った。以上の研究の過程で得られた知見は投稿論文、及び学会などで発表した。

6. キーワード

メタマテリアル MEMS カシミール力 量子真空効果 零点振動 量子浮上 低摩擦 微小力センサー

7. 現在までの進捗状況

区分 (2) おおむね順調に進展している。

理由
金属構造や磁性膜の実験を通して、メタマテリアルのデザイン及びそれを融合するMEMSカンチレバーの仕様を検討した。それと共に、ほぼ二か月前に代表者が東北大学の分担者を訪問し、微細加工や評価に用いる要素技術についての議論・検討を行った。そしてメタマテリアルのデザインを銀・誘電体・銀の三層膜のダブルフィッシュネット構造に決定した。更に、現有の超高周波ドップラー振動計を用いた評価手法の検討を基に、片梁及び両梁MEMSカンチレバーの仕様も決定した。一方、メタマテリアルとMEMSカンチレバーの特性を数値シミュレーションで予測する為に、どのようなシミュレータを奈良先端大に導入するかを試用を行いながら検討した。その結果、COMSOLマルチフィジクスシミュレータに波動光学モジュールとMEMSモジュールを組み合わせたものの導入を決めた。これらにともない計算機環境、及び実験環境の整備を行った。

2 版

8. 今後の研究の推進方策

奈良先端大に導入したCOMSOLマルチフィジクスシミュレータと波動光学モジュールを組み合わせ、ダブルフィッシュネットメタマテリアルの光学応答を計算する。またMEMSモジュールを組み合わせることでカンチレバーの振動数も計算する。数値計算で予測したこれらの特性を、試料作製や評価などの実験にフィードバックすることで、迅速な目標達成を目指す。代表者も参加して分担者の東北大学で、電子線リソグラフィ、スパッタリング及び真空蒸着による成膜、そしてエッチング等を用いて、メタマテリアル融合MEMSカンチレバーを作製する。そしてメタマテリアルが応答する波長の光を照射した状態で、超高周波ドップラー振動計を用いてカンチレバーの振動数を調べる。光照射が無い場合と比較し、働いている力の大きさを評価する。これによりカシミール斥力の観測を目指す。

9. 次年度使用が生じた理由と使用計画

初年度に奈良先端大への導入を予定していたシミュレータの仕様検討と試用に予定よりも時間がかかったため。しかしながら次年度の早い段階で発注する予定であり、計画の遂行には支障はない。

10. 研究発表（平成29年度の研究成果）

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tomita Satoshi, Sawada Kei, Nagai Shotaro, Sanada Atsushi, Hisamoto Nobuyuki, Ueda Tetsuya	4. 巻 96
2. 論文標題 Microwave analog of Stern-Gerlach effects using nonuniform chiral metamaterials	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165425
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.96.165425	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tomita Satoshi, Kurosawa Hiroyuki, Ueda Tetsuya, Sawada Kei	4. 巻 51
2. 論文標題 Metamaterials with magnetism and chirality	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 083001 ~ 083001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6463/aa9ecb	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 富田知志
2. 発表標題 カイラルメタマテリアルを用いた光のシュテルン・ゲルラッハ効果
3. 学会等名 輻射科学研究会 12月例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoshi Tomita
2. 発表標題 Metamaterials with magnetism and chirality
3. 学会等名 第8回電磁メタマテリアル講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomomi Suwa, Satoshi Tomita, Patricia Piego, Andreas Berger, Nobuyoshi Hosoi, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Generalized magneto-optical ellipsometry of Py films with Ag/Bi Rashba interfaces
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 富田知志、澤田桂、真田篤志、上田哲也
2. 発表標題 光学活性メタマテリアルでのスピン軌道相互作用によるビーム分裂
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

2 版

1. 発表者名 Tomomi Suwa, Satoshi Tomita, Patricia Piego, Kazuyuki Nakayama, Andreas Berger, Nobuyoshi Hosoi to, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Generalized magneto-optical ellipsometry of quasi-periodic Fibonacci Fe-Pt multilayers
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomomi Suwa, Satoshi Tomita, Nobuyoshi Hosoi to, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Magnetic Properties of quasi-periodic Fibonacci Fe-Au Multilayers
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 妹尾駿一、富田知志、諏訪智巳、加藤剛志、大島大輝、岩田聡、細糸信好、柳久雄
2. 発表標題 Py/Ag/Bi 三層膜での時間分解磁気光学Kerr効果
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 妹尾駿一、矢野敬祐、鈴木頼乙、富田知志、香月浩之、細糸信好、柳久雄
2. 発表標題 Ag/Bi 二層膜のコヒーレントフォノン分光
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Tomita, Tomomi Suwa, Patricia Riego, Andreas Berger, Nobuyoshi Hosoi, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Generalized magneto-optical ellipsometry of Py layers with Ag/Bi interfaces
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

1 1. 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

計0件（うち出願0件 / うち取得0件）

1 2. 科研費を使用して開催した国際研究集会

計0件

1 3. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
スペイン	CIC nanoGUNE	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

1 4. 備考

富田知志オンライン
http://mswebs.naist.jp/LABs/optics/tomita/jpn/index_j.htm