

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K18751

研究課題名（和文）フォノン結晶共振器による電子フォノン結合系

研究課題名（英文）Electron-phonon coupled systems with phononic crystal resonators

研究代表者

藤澤 利正（Fujisawa, Toshimasa）

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：20212186

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、半導体基板上的の表面弾性波に対するフォノン結晶により、フォノン分散関係の変調や、フォノンを狭い空間に閉じ込めるフォノン共振器構造を形成し、電子格子相互作用を積極的に活用することで、コヒーレントに結合した電子フォノン結合系を創生することを目的とした。具体的には、AlGaAs/GaAs変調ドーパヘテロ構造などの半導体表面上に、人工的に設計された金属周期構造を作製することにより、表面フォノン（表面弾性波）を用いたフォノン結晶やフォノン共振器を形成した。共振器中に作り込まれた二電子系二重量子ドットの輸送特性を評価することで、フォノンで励起されたラビ分裂の観測などに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常、電子格子相互作用によるフォノン散乱は、電子系のコヒーレンスを乱す悪役としての印象が強い。本研究では、電子格子相互作用を積極的に活用し、電子と格子が結合した1つの系として扱うことで、フォノン散乱によるデコヒーレンスなどの問題点を克服し、電子格子結合系全体の量子性に着目するという新たな視点での研究を進めた。これは、電子フォノン結合系での共振器量子電磁力学の創生を目指すもので、その学術的な価値は非常に高い。本研究では、フォノン励起によるラビ分裂の観測により、一定の成果に達したものと考えている。今後、素子構造の改善などで真空ラビ分裂の観測に至ると、より学術的・社会的価値が明確になると期待する。

研究成果の概要（英文）：The objective of the project is to provide coherently coupled electron-phonon systems by taking advantage of electron-phonon interactions in semiconductors. Such coupled systems might be able to minimize the decoherence issues of electron systems. The system can be prepared by designing phononic band structures and phonon resonators for surface acoustic waves and embedding a mesoscopic electronic system inside the resonator. In practice, periodic patterns of a metal film are formed on a surface of an AlGaAs/GaAs modulation doped heterostructure to develop a double quantum dot in a phonon resonator. For example, a two-electron double quantum dot in the Pauli spin blockade regime was formed to study spin-conserved and spin-flip phonon-assisted tunneling. We successfully observed phonon-induced Rabi splitting by analyzing the spin-flip phonon-assisted transport characteristics. This would provide a novel opportunity for studying novel electron-phonon coupled systems in the future.

研究分野：メソスコピック系

キーワード：電子フォノン結合系 フォノン結晶共振器 量子ナノデバイス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

固体結晶中の格子振動モードであるフォノン、結晶固有の性質(分散関係など)として理解され、物質固有の電子格子相互作用によって電子系と結合する。電子格子相互作用は、電子輸送現象における散乱やエネルギー散逸の要因として知られており、電子のコヒーレンスを壊す悪役という印象が強い。我々は、電子格子相互作用を積極的に活用し、電子と格子が結合した1つの系として扱うことで、フォノン散乱によるデコヒーレンスなどの問題点を克服し、電子格子結合系全体の量子性に着目するという新たな視点にたち、電子格子相互作用のパラダイムシフト(考え方の変化)を引き起こすことができるのではないかと考えた。

我々は、AlGaAs/GaAs系半導体ヘテロ構造を用いて、低次元電子系の輸送現象や、そのダイナミクス、表面弾性波フォノンを用いた輸送現象などに関する研究に長年の実績を有していた。電子系に関しては、二重量子ドットの二準位系を用いた電荷量子ビットの研究[1]や、2つの二重量子ドットを結合した二量子ビット系におけるコヒーレント制御[2]にも成功し、半導体量子コンピュータに向けた基礎研究を加速した。しかし、その中で、電子系の散逸の主要因がフォノン散乱であること[1, 3, 4]も世界で初めて明らかにし、電子格子相互作用の問題を根本的に考える必要性を感じていた。

一方で、マイクロ波帯の表面弾性波の照射実験から、コヒーレントな表面弾性波フォノンを生成することができ、表面弾性波フォノンと電子系の結合が顕著であることを見出した[5]。このような経緯から、電子フォノン結合系に関する研究を開始するに至った。また、表面弾性波が金属パターンによって反射する現象に着目し、ブラッグ反射型のミラーや共振器を設計・作製する技術を獲得し、比較的性能の良い表面弾性波フォノン共振器(Q値で2000程度、F値で80程度)のものを実現するに至った。さらに、量子ポイント接合を用いて、表面弾性波の共振モードを周波数領域・時間領域・空間分解で観測する手法を構築し、フォノン共振器の特性を高精度に評価できるようになった[6]。

このように、我々は表面弾性波フォノンを用いて、電子系とフォノン系の結合系に関する先駆的な研究に従事してきた。この研究をさらに発展し、表面弾性波フォノンと電子系が強く結合した系を探索するという萌芽的かつ挑戦的な研究に着手した。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、人為的に作製したフォノン結晶によりフォノン分散関係を変調することで、フォノンを狭い空間に閉じ込めたフォノン共振器構造を開発し、その共振器構造内に置かれた電子系(量子ドットなど)の電子格子相互作用についての研究を進め、コヒーレントに結合した電子フォノン結合系を創生することを目的とした。

より具体的には、AlGaAs/GaAs変調ドープヘテロ構造などの半導体表面に、人工的に設計された金属周期構造を作製することにより、表面フォノン(表面弾性波)に対するフォノン結晶を作製し、人工的に設計されたフォノン分散関係を作り出す。周期構造の「欠陥」を人為的に入れることにより、フォノン共振器を形成し、離散的なフォノン束縛状態を作る。主に数GHz帯のフォノン共振器を対象として、電子系との結合系を目指した。電子系については、二次元・一次元・零次元の低次元電子系を共振器内に作り込むことにより、フォノンと電子の結合系を実現する。極低温環境においてフォノンの真空状態を準備し、必要により特定のフォノンモードを励起してコヒーレント状態のフォノンを準備する。電子系の輸送特性やフォノンの伝搬特性などを評価することにより、電子フォノン結合系の研究を進めることとした。

当初の計画は、表面弾性波共振器の性能を高めることと、電子フォノン結合による真空ラビ分裂の観測を目指すこととした。これらの目標が実現されれば、「散逸」の要因と考えられてきた電子格子相互作用に変革をもたらす、「コヒーレントに結合する電子系とフォノン系」での量子状態に関する研究が著しく進展するものと期待していた。そこで、本研究では

- ・フォノン結晶によるフォノン共振器に関する研究
- ・電子フォノン結合系による真空ラビ分裂に関する研究

を目標として、研究を進めた。

以下に示すように、フォノン共振器については、表面金属の選定や共振器構造の最適化により、表面弾性波フォノン共振器の作製技術は格段に向上した[研究成果 4-(1)]。電子フォノン結合系による真空ラビ分裂の観測には至っていないものの、二電子系二重量子ドットのスピンプロケード現象を活用することで、新たな分光技術を獲得し、フォノン励起によるラビ分裂の観測に至った[研究成果 4-(2)]。

さらに、当初の計画にはなかった研究テーマにも着手した。量子ホール効果のエッジチャンネルにおいて、ホットエレクトロンの弾道的輸送条件を探るため、光学フォノン散乱を抑制する技術を獲得した[研究成果 4-(3)]。さらに、現在も進行中の研究であるが、量子ホール効果におけるバルク絶縁体に表面弾性波を照射することで準粒子輸送を誘起する手法にも取り組んでおり、引き続き研究を進めている。

3. 研究の方法

研究は、試料作製技術と極低温での高周波輸送測定技術を駆使して進めた。両者とも、モデル

計算と実験技術の組み合わせが重要である。

(1) 試料作製方法

表面弾性波のフォノン結晶の設計にあたっては、半導体表面の金属修飾による表面弾性波の速度変化、金属領域と自由領域（金属のない領域）の境界における表面弾性波の反射、ピエゾ効果による電気信号と弾性波の変換を取り入れた1次元の散乱行列結合モード理論を用いた計算プログラムを開発した。表面弾性波を励振するトランスデューサのSパラメータの計算と実験値の比較により、モデルのパラメータを決定した。そのパラメータを元に、共振器中の音響モードやピエゾポテンシャルの計算を行い、電子フォノン結合系の結合強度を最適化する素子構造を決定した。

フォノン結晶の作製にあたっては、電子ビーム露光技術を用いた。本研究の構造では、電子ビーム露光における近接効果（電子ビームが遠距離に広がる効果）による補正をかけるため、自前の近接効果補正プログラムを作製した。近接効果の補正パラメータを最適化することで、均一性の高いフォノン結晶の作製に至った。特に、表面弾性波共振器中に量子ドットなどの素子を埋め込む場合には、近接効果補正は必須の手法である。少数電子系の二重量子ドットなど、電子系の作製については、長年の実績を有しており、これらのノウハウを用いて素子を作製した。高電子移動度のAlGaAs/GaAs変調ドープヘテロ構造半導体に、電子ビームリソグラフィーやフォトリソグラフィーでパターニングを行い、フォノン結晶をつくる表面金属構造、電子系を制御するゲート電極、輸送特性を測定するオーミック電極などを有する試料を作製した。

(2) 極低温・高周波輸送測定技術

表面弾性波のフォノン結晶の特性評価には、ネットワークアナライザを用いる。基本的な測定は室温で行うことができるため、素子設計・素子作製へのフィードバックを迅速に行うことができる。一方で、電子系の測定には、極低温が必須であり、数GHzのフォノンのフォノン数を1より十分に小さくするため、100 mK以下の環境で測定を行った。希釈冷凍機に同軸ケーブルを用いて高周波信号を導入し、素子上のトランスデューサにて表面弾性波を励振する。その応答を二重量子ドットなどの電子系を流れる微小電流によって検出することで、フォノン誘起のラビ分裂などを観測した。

得られた電流特性が所望の効果であることを裏付けるため、電子フォノン結合系のモデル計算を行った。コヒーレントなフォノン場によってドレスト状態が形成されることが期待されるが、その状態による輸送特性を密度行列によるマスター方程式によって計算した。得られた計算結果と実験との対比によって、電子フォノン結合系を評価した。

4. 研究成果

(1) フォノン共振器の特性向上

本研究で用いた表面弾性波の素子構造を図1(a)に示す。左右にブラッグ反射鏡があり、距離 g の間隙を設けることで共振器モードを形成することができる。ブラッグ反射鏡は、周期 a の金属ストライプ（金属被覆率 η を用いて、金属部分の長さが ηa ）が N_B 本あり、反射率の高いミラーを構成する。 N_B 本のストライプのうち N_1 本は、交差指電極トランスデューサ(IDT)となっており、高周波電圧の印加によって、表面弾性波を励振することができる。この場合、（金属のない）自由領域の表面弾性波速度 v_F 、金属領域の速度 v_M 、境界での反射係数 r が重要なパラメータとなる[6,7]。

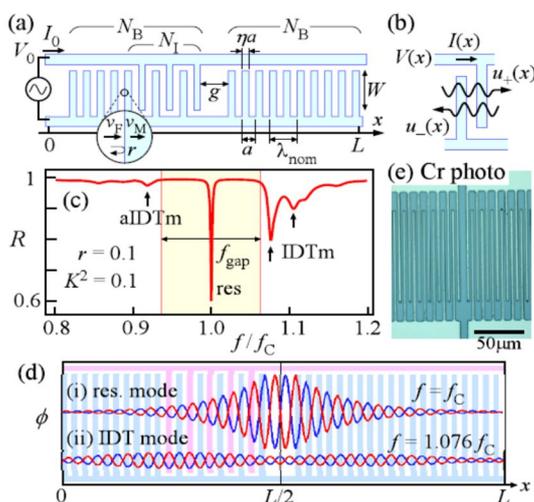


図1 表面弾性波共振器構造 (a) 素子構造。(b) 解析モデル。(c) 高周波反射特性。(d) 共振器モードとIDTモード (e) 典型的な素子の写真。

図1(b)のように右方向・左方向に進む表面弾性波 $u_+(x)$ と $u_-(x)$ の散乱を考慮して数値計算し、図1(c)はトランスデューサの高周波反射係数 R の周波数スペクトルを示している（特徴を明確に示すため、電気音響結合定数を $K^2 = 0.1$ に選んでいる）。 f_{gap} で示された範囲がフォノンのバンドギャップであり、その中央に共振器モードによるディップがみられる。バンド端付近には、トランスデューサと強く結合するIDTモード(IDTm)と、弱く結合するアンチIDTモード(aIDTm)がみられる。上記の定義において、 r が正の場合、IDTmが高周波側に現れる。図1(d)は、ピエゾポテンシャルの波形を表しており、赤と青は半周期異なる時刻における波を示している。共振器モード(i)においては、共振器内における振幅が強く、狭い範囲に表面弾性波が閉じ込められていることを示している。一方で、IDTモード(ii)は、広い範囲にまたがっており、表面弾性波は左右に伝播していることを表している。

本研究の目的では、反射係数 r が大きい金属

エネルギーバイアス ε を調整できる。トランスデューサに印加する高周波電圧 V_{IDT} が 0 の場合に、 $\varepsilon=0$ 付近で電流が抑制されている（結果として 2 つのピークに見える）ことが確認される。 V_{IDT} を増加すると ($V_{\text{IDT}} < 1 \text{ mV}$) $\varepsilon = \pm hf$ の条件に SF-PnAT による電流ピークが観測される。さらに V_{IDT} を増加すると電流ピークの位置が内側に变化 ($|\varepsilon| < hf$) し、最終的 ($V_{\text{IDT}} \sim 2 \text{ mV}$) に $\varepsilon=0$ の 1 つのピークに変化する様子が確認された。この結果は、フロケ・リンドブラッド方程式による数値計算とも定性的に一致する。本結果は、SAW フォノンと電子系のコヒーレントな結合を示唆しており、フォノン共振器電気力学への進展が期待される。

(3) 量子ホールエッジチャンネルにおける LO フォノン散乱の電界制御

量子ホールエッジチャンネルにおいて、フェルミエネルギー ε_F より十分高いエネルギーにある電子(ホットエレクトロン)は、長距離バリスティック伝導など興味深い性質を示す[9]。主な散乱要因である電子電子散乱は、低エネルギーの電子系と空間的・運動量的・エネルギー的によく分離されるため、顕著に抑制される。本研究では、エッジチャンネル内の縦光学(LO)フォノン放出に着目し、2本の微細ゲート電極から構成される二重ゲート電極によって局所的なエッジ電場を抑制することで、LO フォノン放出確率の抑制に成功した[10]。LO フォノンは GaAs の場合約 36 meV という特性エネルギーを有しており、エッジチャンネル内の LO 散乱においては空間的な変位を伴う。この変位が磁気長よりも十分に大きいと LO フォノンが抑制される点に着目したものであり、本実験では、二重ゲート電極を用いてエッジポテンシャルを緩やかにする（電場を小さくする）ことで緩和長を数倍から 1 桁以上伸ばすことが可能になる。

< 引用文献 >

- [1] T. Hayashi, T. Fujisawa, H. D. Cheong, Y. H. Jeong, Y. Hirayama, "Coherent manipulation of electronic states in a double quantum dot", Phys. Rev. Lett. 91, 226804 (2003).
- [2] G. Shinkai, T. Hayashi, T. Ota, and T. Fujisawa, "Correlated coherent oscillations in coupled semiconductor charge qubits", Phys. Rev. Lett. 103, 056802 (2009).
- [3] T. Fujisawa, T. H. Oosterkamp, W. G. van der Wiel, B. W. Broer, R. Aguado, S. Tarucha, and L. P. Kouwenhoven, "Spontaneous Emission Spectrum in Double Quantum Dots", Science 282, 932 (1998).
- [4] T. Fujisawa, D. G. Austing, Y. Tokura, Y. Hirayama, and S. Tarucha, "Allowed and forbidden transitions in artificial hydrogen and helium atoms", Nature 419, 278 (2002).
- [5] W.J.M. Naber, T. Fujisawa, H.W. Liu, W.G. van der Wiel, "Surface Acoustic Wave induced Transport in a Double Quantum Dot", Phys. Rev. Lett. 96, 136807 (2006)
- [6] J. C. H. Chen, Y. Sato, R. Kosaka, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Enhanced electron-phonon coupling for a semiconductor charge qubit in a surface phonon cavity", Sci. Rep. 5, 15176 (2015).
- [7] R. Takasu, Y. Sato, T. Hata, T. Akiho, K. Muraki and T. Fujisawa, "Surface-acoustic-wave resonators with Ti, Cr, and Au metallization on GaAs", Appl. Phys. Express 12, 055001-1-5 (2019).
- [8] Y. Sato, J. C. H. Chen, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Two-electron double quantum dot coupled to coherent photon and phonon fields", Phys. Rev. B 96, 115416 (2017).
- [9] T. Ota, S. Akiyama, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Spectroscopic study on hot-electron transport in a quantum Hall edge channel", Phys. Rev. B 99, 085310-1-8 (2019).
- [10] S. Akiyama, T. Hirasawa, Y. Sato, T. Akiho, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Ballistic hot-electron transport in a quantum Hall edge channel defined by a double gate", Appl. Phys. Lett 115, 243106 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Akiyama Shunya, Hirasawa Taichi, Sato Yuya, Akiho Takafumi, Muraki Koji, Fujisawa Toshimasa	4. 巻 115
2. 論文標題 Ballistic hot-electron transport in a quantum Hall edge channel defined by a double gate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 243106 ~ 243106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5126776	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ota Tomoaki, Akiyama Shunya, Hashisaka Masayuki, Muraki Koji, Fujisawa Toshimasa	4. 巻 99
2. 論文標題 Spectroscopic study on hot-electron transport in a quantum Hall edge channel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085310-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.085310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sato Yuya, Chen Jason C. H., Hashisaka Masayuki, Muraki Koji, Fujisawa Toshimasa	4. 巻 96
2. 論文標題 Two-electron double quantum dot coupled to coherent photon and phonon fields	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115416-1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.115416	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ota Takeshi, Hitachi Kenichi, Muraki Koji, Fujisawa Toshimasa	4. 巻 10
2. 論文標題 Dissipative Landau-Zener transition in double quantum dot under sinusoidal potential modulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 115201 ~ 115201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.115201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Kotaro Suzuki, Tokuro Hata, Yuya Sato, Takafumi Akiho, Koji Muraki, Toshimasa Fujisawa
2. 発表標題 Spectroscopic study on electron-hole plasma excited by hot electrons in quantum Hall edge channels
3. 学会等名 24th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-24) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木光太郎, 秦徳郎, 佐藤裕也, 秋保貴史, 村木康二, 藤澤利正
2. 発表標題 量子ホールエッジチャンネルにおけるホットエレクトロン注入による電子正孔励起の生成と減衰
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平澤太一, 鈴木光太郎, 秦徳郎, 佐藤裕也, 秋保貴史, 村木康二, 藤澤利正
2. 発表標題 占有率2の量子ホールエッジチャンネルにおけるホットエレクトロン注入による非熱的状态
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Ota, S. Akiyama, T. Hirasawa, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa
2. 発表標題 Spectroscopic study on hot-electron transport in a quantum Hall edge channel
3. 学会等名 The 21st International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (EDISON2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山竣哉, 平澤太一, 佐藤裕也, 秋保貴史, 村木康二, 藤澤利正
2. 発表標題 量子ホールエッジチャンネルにおけるLOフォノン散乱の電界制御
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Sato, Jason C. H. Chen, Masayuki Hashisaka, Koji Muraki, and Toshimasa Fujisawa
2. 発表標題 Two-electron double quantum dot coupled to a coherent surface-acoustic wave
3. 学会等名 Frontiers of Nanomechanical Systems (FNS/2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Syunya Akiyama
2. 発表標題 Energy dependence of e-e scattering on quantum Hall edge channels
3. 学会等名 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum Coherence Effect and Quantum Information (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤裕也, 高須亮, 秦徳郎, 秋保貴史, 村木康二, 藤澤利正
2. 発表標題 GaAs系表面弾性波共振器のフォノン禁制帯幅の向上
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山竣哉
2. 発表標題 Tuning of LO phonon emission in a quantum Hall edge channel with a double gate
3. 学会等名 新学術領域研究「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」第4回領域研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山竣哉, 太田智明, 橋坂昌幸, 村木康二, 藤澤利正
2. 発表標題 量子ホールエッジチャンネルにおける電子電子散乱のエネルギー依存性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sato, R. Takasu, and T. Fujisawa
2. 発表標題 A focusing resonator for surface acoustic waves on GaAs
3. 学会等名 International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2017 (HQS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Fujisawa, Y. Sato, J. C. H. Chen, M. Hashisaka, and K. Muraki
2. 発表標題 A two-electron double quantum dot coupled with a coherent phonon field
3. 学会等名 International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2017 (HQS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ota, K. Hitachi, K. Muraki, and T. Fujisawa
2. 発表標題 Dissipative Landau-Zener transition in capacitance measurement on a double quantum dot
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 R. Takasu, Y. Sato, and T. Fujisawa
2. 発表標題 Acoustic characteristics of a surface-acoustic-wave resonator made of two Bragg reflectors with periodic metallization of GaAs
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Fujisawa
2. 発表標題 Double Quantum Dot Coupled with a Phonon Resonator
3. 学会等名 Th-16, International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田剛, 日達研一, 村木康二, 藤澤利正
2. 発表標題 二重量子ドットにおける正弦波ポテンシャル変調下での散逸を伴うランダウ・ツェナー遷移
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

藤澤研究室ホームページ http://fujisawa.phys.titech.ac.jp/ 藤澤研究室 http://fujisawa.phys.titech.ac.jp/ Fujisawa Lab. http://fujisawa.phys.titech.ac.jp/ Fujisawa Laboratory http://fujisawa.phys.titech.ac.jp/ 東京工業大学藤澤利正研究室ホームページ http://fujisawa.phys.titech.ac.jp/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 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
---------	---------