

研究課題別評価

1. 研究課題名 : クーロンブロッケードによる階段状変位電流の測定とその応用

2. 研究者氏名 : 真島 豊

3. 研究の狙い :

単一電子素子では、素子に機械的な変調を加えることにより単一電子の動きを制御することが可能であり、機械的振動と単一電子現象という、これまであまり考慮されてこなかった融合領域の新原理デバイスを構築することが期待されている。本研究では、単一電子素子における空間変調に起因した単一電子挙動の把握と制御というテーマに関して、走査振動プローブを用いた変位電流スペクトロスコピーとトンネル電流スペクトロスコピーの同時計測手法を新たに構築し、二重トンネル接合に適用することにより、ナノドットにおける単一電子の挙動を解明・応用することに挑戦した。具体的には、走査振動プローブを用いたナノメカニカル二重トンネル接合の電流 - 電圧依存性において、階段状変位電流と階段状トンネル電流を同時に計測することによりプローブ振動に伴ったナノドット上の単一電子の挙動を明らかにすること、さらには、機械的振動と単一電子現象を組み合わせた新しい単一電子素子の応用研究を展開することを目指した。

4. 研究結果 :

走査振動プローブ / 真空 / Auドット / ジチオール自己組織化単分子膜 (SAM) / Au (111) 構造からなるナノメカニカル二重トンネル接合において、プローブを正弦波的に振動させた際に流れるトンネル電流と変位電流を同時分離計測する機器を新たに構築し、プローブ振動に伴うクーロンブロッケード条件の周期的変化に起因した、階段状変位電流と階段状トンネル電流を測定することに成功した。階段状変位電流の測定結果と解析結果を比較することにより、プローブ振動に同期して単一電子が反復転送される、いわゆるエレクトロンシャトル現象が約170個のAuドットにおいて協調的に起こることを明らかにした。さらに、単一電子の反復転送によって流れるトンネル電流の理論曲線と測定された階段状トンネル電流を比較することにより、実際に二重トンネル接合を横切った電子数は、反復転送により横切る電子数の約2倍であり、プローブがサンプルに近づいた際に定常的に流れるトンネル電流と、反復転送により流れるトンネル電流がほぼ等しいことを明らかにした。このようにナノメカニカル単一電子素子における変位電流とトンネル電流の同時計測は初めての例であり、ナノドット上に存在する電子数と二重トンネル接合を横切った電子数の双方を同時に把握することが可能であり、単一電子の挙動をつぶさに検討することができる。

次に、走査振動プローブ / 真空 / ナノドット / SAM / Au (111) 構造からなるナノメカニカル二重トンネル接合のトンネル電流 - 電圧依存性において、負性微分抵抗現象を発見した。この負性微分抵抗は繰り返し観察され、ナノドットとしてC60分子を用いた場合にも観察された。また、負性微分抵抗が観察されなかった場合には、一般的な階段状トンネル電流が観察され、負性微分抵抗のピークに対応する電圧は、階段状トンネル電流のステップ位置と一致する傾向があることを発見した。これらの結果より、負性微分抵抗現象は、微小ドットが帯電した際の静電気力により微小ドットを支えている分子が伸縮することにより、自己励振的にエレクトロンシャトル現象が発生することに起因している可能性が高いことを示した。

5. 自己評価 :

クーロンブロッケードによる階段状変位電流を測定し、ナノドットにおける電気的評価手法を確立し、単一電子素子と分子エレクトロニクスの両分野への応用を試みるという当初の目的は、上述のようにほぼ達成させられたと考えられる。特に負性微分抵抗現象を発見したことにより、単なる評価手法から新しいナノメカニカル単一電子素子構築への応用研究につなげることができたと考えている。

今後は、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業の「継続研究」として、ナノメカニカル二重トンネル接合における負性微分抵抗現象を解明し、分子のやわらかさを利用した自己励振工

レクトロンシャトルを用い、テラヘルツ領域の特定の周波数の光の検出を行うことが可能な、ナノメカニカル単一電子素子の創製に向けた研究を展開する。

6.研究総括の見解：

ナノドット上に存在する電子数と二重トンネル接合を横切った電子数の双方を同時に把握することで、単一電子の挙動を評価する技術確立した。単一電子デバイス開発の基盤技術となることを期待する。

また、C60分子の振動を利用した新規原理のデバイスを考案しており、今後の展開を期待したい。

7.主な論文等：

論文

1. Yutaka MAJIMA, Kouhei NAGANO, Atsushi OKUDA, 'Displacement Current Staircase in Mechanical Single-Electron Turnstiles ', Jpn. J. Appl. Phys., 41, 5381-5385, 2002.
2. Kouhei NAGANO, Atsushi OKUDA, Yutaka MAJIMA, 'Observation of Coulomb Staircase of Both Tunneling Current and Displacement Current Staircase in Nanomechanical Double Barrier Tunneling Structure ', Appl. Phys. Lett., 81,(2002) 544-546.
3. Kouhei NAGANO, Atsushi OKUDA, Yutaka MAJIMA, 'Displacement Current Staircase due to Coulomb blockade ', Materials Research Society Proceedings 699, (2002) 113-118.
4. Yasuo AZUMA, Kouhei NAGANO, Yutaka MAJIMA, 'Observation of Displacement Current Staircase and Negative Differential Resistance in Nanomechanical Double Barrier Tunneling Structures with Scanning Vibrating Probe ', Jpn. J. Appl. Phys., 42, (2003) 2458-2461.

国際学会招待講演

1. Yutaka MAJIMA, 'Single Electron Motion in Nanomechanical Double Barrier Junction with C60 Molecule ', Second International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE2), Tokyo, March 2003.
2. Yutaka MAJIMA, 'Detecting Single Electron Motion in Nanomechanical Double Barrier Tunneling Junction using Self-assembled Monolayer as Tunneling Barrier ', The 14th Molecular Electronics Devices Symposium, Seoul, Korea, March, 2003.

特許

1. 単一電子素子評価装置、真島豊、特願2001-88349
2. 二重トンネル接合素子、真島豊、長野浩平、東康男、特願2002-84684

外部発表 (論文3件、プロシーディング1件、口頭発表 国際会議8件、国内会議11件)

受賞

東工大挑戦的研究賞、真島豊、2002.