

卒業論文要旨

超短電圧パルストンネル分光の制御システム構築

システム工学群

極限ナノプロセス研究室 1210142 日笠 響貴

1 緒言

2原子間の結合は、物質構造の最も基本的な相互作用であるため、その理解は、物質の構造を根源から解明するという点で、物質科学全般にまたがる基礎学術課題に位置付けられる。また、2原子間の結合を計測できれば、機能性材料を開発する際の大きな設計指針となり得る。例えば、ナノテクノロジーを駆使したセンサーの開発では、センサー表面の化学活性度が検出感度に大きな影響を与える。そのため、性能の向上には、表面原子1つひとつの化学活性度を精密に計測することが求められる。

近年、原子間の結合に関する研究は、走査プローブ顕微鏡 (SPM) の発展に伴い活発化している⁽¹⁾⁽²⁾。澤田らは、原子間力顕微鏡と走査トンネル顕微鏡の複合装置 (AFM/STM) を用いて、2原子間の共有結合力の増大に伴い、両者の間に流れるトンネル電流が急落すること示した⁽³⁾。この現象は「共有結合に伴う原子軌道から分子軌道への電子遷移」に依るものと解釈されているが、そのような電子遷移過程は未だ実測には至っておらず、理論的考察⁽⁴⁾に留まっている。上記解釈の実証には、新たな測定技術の開発が必要である。

そこで本研究では、2原子の化学結合に伴う原子軌道から分子軌道の遷移過程をエネルギースケールで直接観察可能な超短電圧パルストンネル分光法 (USVP-STS) の開発を目的とした。本装置は、近年開発されたパルス AFM⁽⁴⁾⁽⁵⁾ をベースとし、パルス電圧を、従来のものから、より複雑に制御する必要がある。本研究では、そのような複雑なパルス電圧制御に必要なコントローラーの構築、及びその動作性能の検証を行った。

2 USVP-STS システムの原理

2原子の化学結合に伴う原子軌道から分子軌道の遷移過程を検出するには、トンネル電流を試料電圧と2原子間距離の関数として測定する必要がある。図1にUSVP-STSの原理を示す。通常のAFM/STMでは、DC電圧を印加しながら、試料表面付近で導電性のカンチレバーを振動させることで、探針が試料表面に接近した際のトンネル電流を平均量として検出する。一方、USVP-STSでは、試料電圧としてカンチレバーの振動と同期させた超短電圧パルスを印可する。これにより、特定の探針-試料間距離でのトンネル電流を電圧印可中の極僅かな時間内に検出できる。このような状態から、さらに、電圧パルスの振幅や遅延時間を系統的に変化させると、トンネル電流を試料電圧と2原子間距離の関数として検出でき、そこから、2原子間の化学結合に伴う局所状態密度の変化を解析的に求めることができる。

3 実験手法

本研究では、上記、パルス電圧の振幅・遅延時間制御を目的に、電圧出力源としてダイバー社の任意波形発生器 (WX2182C)、さらに、任意波形発生器の制御にLabVIEWお

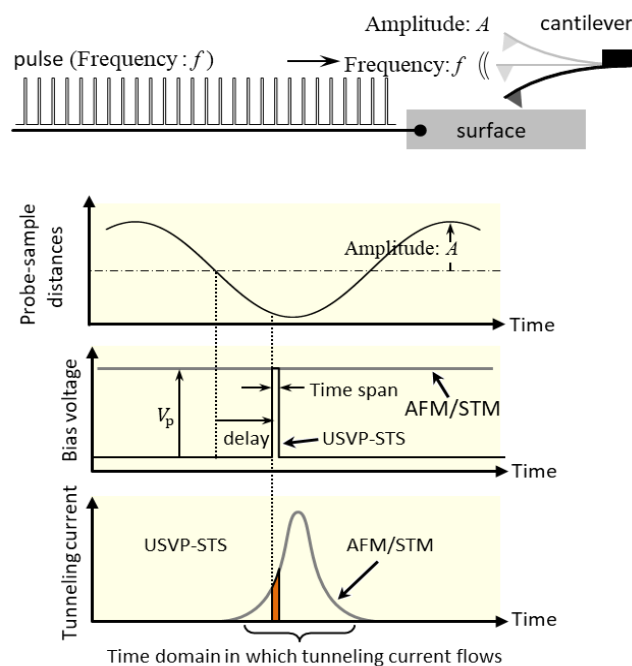


Fig1 Schematic overview of USVP-STS system

よびその付属ハードウェアである myRIO (共に National Instruments 社製) を用いた。実験では、まず、これらのシステムの動作確認を目的に、直流電源 (ZX-S-400LAN, 高砂製作所) と放射温度計 (表示部 TMCX-NDE, センサーヘッド FLHX-PNE0300-0200B1.1-000, ジャパンセンサー社) を用いて、試料温度の電流加熱制御を行った。具体的には、図2に示すように、LabVIEW で直流電源を制御してタングステンコイル

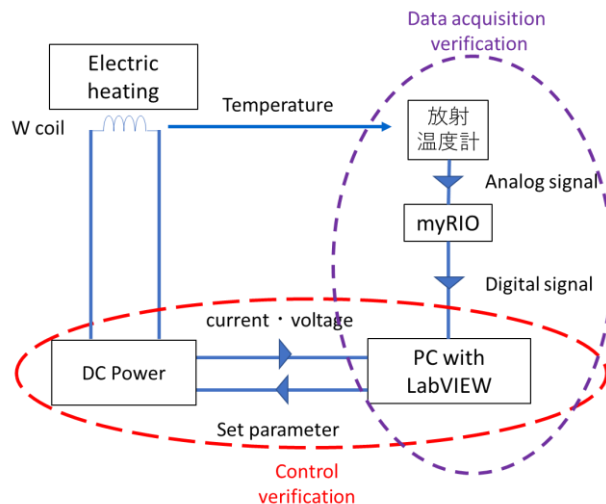


Fig2 Block diagram of the current heating control system

ルを通电加熱し、その温度をアナログ信号として myRIO で読み込んだ(後に詳述)。この動作検証後、USVP-STC コントローラー開発として、任意波形発生器の制御を行った。任意波形発生器を用いてパルス波を任意波形出力するために、波形データを用意する必要がある。波形データを効率的に作成できるようにするために、LabVIEW を用いて矩形波自動生成プログラムを構築した。その後、任意波形出力にてパルス波を出力するためのプログラムを作成し、動作確認を行った。

4 動作検証結果

図2の装置構成のもと、LabVIEW と myRIO の動作検証を行った。この装置では、制御検証部にて制御された直流電源によりタングステンコイルを通电加熱し、その際の温度をデータ取得検証部にて測定し、PC に取り込むことができる。データ取得検証の結果、放射温度計が出力したアナログ電圧信号を myRIO でデジタル信号に変換して、PC に取り込むことに成功した。また LabVIEW を用いて直流電源の制御も問題なく行えることを確認できた。これにより、本研究にて開発するコントローラーに用いる LabVIEW と myRIO が正常に動作することが確認できた。

5 コントローラー開発結果

任意波形発生器を制御するプログラムとして波形データ生成プログラムと信号波形出力プログラムを作成した。前者のプログラムは、パルス波の掃引に必要なパラメータをフロントパネルに入力することで、矩形波データ群を CSV ファイルとして保存した。また、実際の矩形パルス波の出力は、LabVIEW にて作成した信号波形出力プログラムで任意波形発生器を制御することで行った。その際、図3に示すような構成にて、パルス波をオシロスコープに出力した。信号波形出力プログラムにて振幅および遅延時間を掃引し、オシロスコープで読み取った結果を図4及び図5に示す。振幅 V および遅延時間 τ が一定の間隔で変化している様子を確認できる。以上、LabVIEW のプログラムを用いて矩形波信号の任意振幅、遅延時間の間で掃引させることに成功した。

6 今後の研究計画

本研究で、USVP-STC の開発を目的に、そのコントロール部の開発を行った。はじめに、コントローラーの開発環境に用いる LabVIEW と myRIO の動作検証をおこない、それらが、USVP-STC のコントローラーに必要な仕様を満たしていることを確認した。さらに、LabVIEW を用いた任意波形発生器の制御を行った結果、矩形パルスの任意振幅、遅延時間での掃引を問題なく行えることが確認できた。今後、このコントローラーの最適化を行ったうえで、USVP-STC への組み込みを行う。

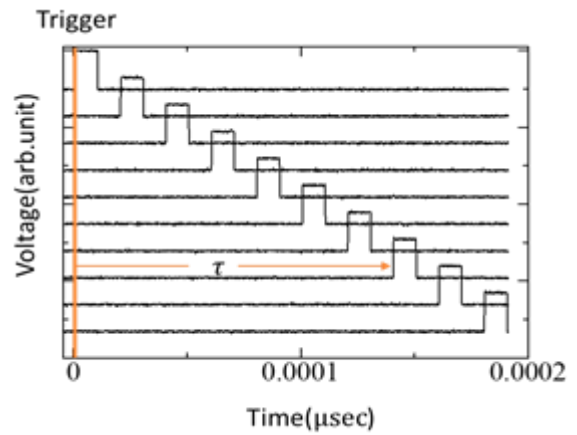


Fig4 Demonstration of the arbitrary wave generation (τ sweep) from AGW graphs.

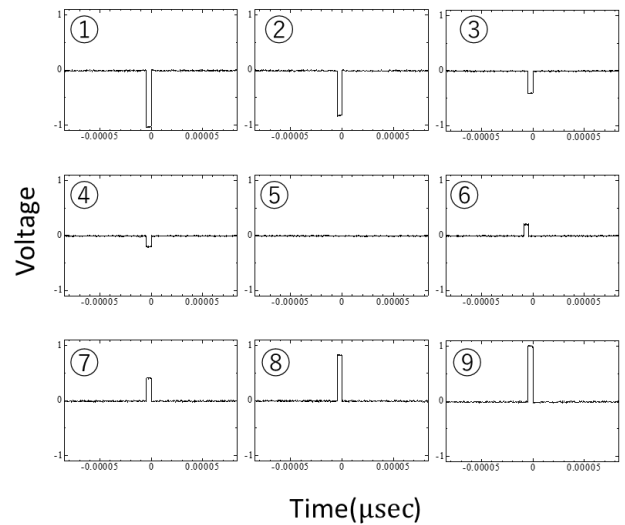


Fig5 Demonstration of the arbitrary wave generation (V sweep) from AGW graphs.

参考文献

1. P. Gehring, J. M. Thijssen and H. S. J. van der Zant, Nat. Rev. Phys. 1, 381 (2019).
2. D. Sawada et al., Appl. Phys. Lett. 94, 173117 (2009).
3. P. Jelínek, M. Svec, P. Pou, R. Perez and V. Chab, Phys. Rev. Lett. 101, 176101 (2008).
4. E. Inami and Y. Sugimoto, Phys. Rev. Lett. 114, 246102 (2015).
5. E. Inami and Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 08NB05 (2016).

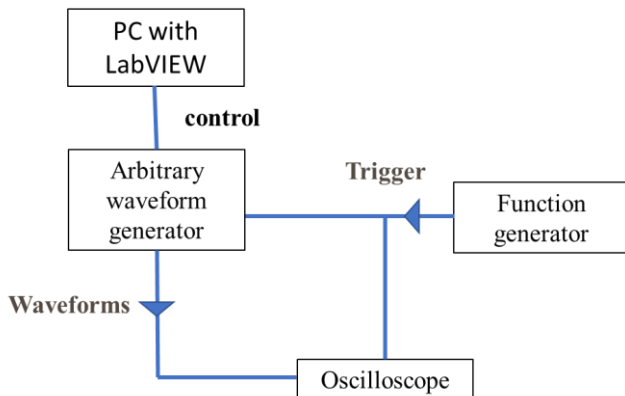


Fig3 Block diagram of AWG control system