

時間分解 STM で観測される半導体の光キャリア緩和過程と物理モデルの検証

Photocarrier dynamics in semiconductor probed by SPPX-STM

筑波大学 ○横田 統徳、成田 和繁、吉田 昭二、寺田 康彦、武内 修、重川 秀実

Institute of Applied Physics, University of Tsukuba

E-mail: yoshida@ims.tsukuba.ac.jp, http://dora.bk.tsukuba.ac.jp

微細化・高速化が進んだデバイスを正しく評価するため、高い空間分解能と高い時間分解能を併せ持つ計測手法が必要である。我々は、高い空間分解能と時間分解能を併せ持つ、遅延時間変調型パルスペア励起 STM(Shaken-Pulse-Pair-excited STM;SPPX-STM)を開発し、これまで様々な半導体試料に対し測定を行ってきた。その結果 SPPX-STM の信号には物理起源の異なる二つのキャリア緩和過程が反映されることが分かってきた(図 1)^[1]。本研究では試料に照射するパルス光強度を変化させ計測を行うことで、二つの成分が観測される条件を明らかにするとともに、物理モデルの検証を行った。

SPPX-STM は、原子レベルの空間分解能を持つ STM とフェムト秒レーザパルスを用いた光学ポンプ・プローブ反射率測定法を組み合わせた手法である。探針直下の試料表面にレーザパルスペアを照射し、パルスペア間の遅延時間の変化に対応するトンネル電流の変化を測定することで、時間分解信号を得る(図 2)。試料には n 型の GaAs を用いた。

光強度を変化させて遅延時間に依存したトンネル電流の変化を測定したところ、低い場合は 100ns 程度の遅い成分が観測され、光強度が高い場合には遅い成分に加え 10ns 程度の早い緩和成分が観測された(図 3)。光強度が高いと光キャリアの吸収飽和が強く起こるため、GaAs の少数キャリア寿命(~10ns)に対応した成分が表れると考えられる。一方、バンドベンディングにより表面に蓄積した少数キャリア(正孔)は再結合の相手(電子)が表面で欠乏しているため、その寿命は主に熱電子放出過程に支配され遅い成分として現れる。その寿命は光強度に強く依存し、光強度が弱いとより遅くなることが明らかになった。これはバンドベンディング量の光強度依存性と対応しており、弱い光強度ではバンドがより大きく曲がった状態であるため熱電子放出過程が律速され寿命が長くなると考えられる。

[1] Y. Terada, S. Yoshida, O. Takeuchi and H. Shigekawa, Nature Photonics, 2010.235 (2010)

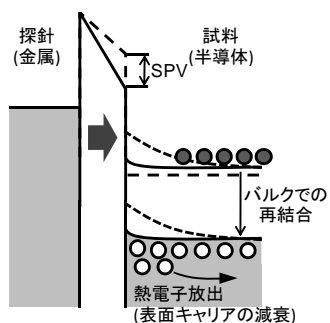


図 1 STM トンネル接合バンド図
と光キャリアの減衰過程

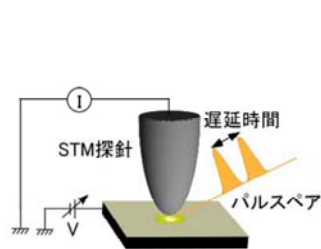


図 2 SPPX-STM の概略図

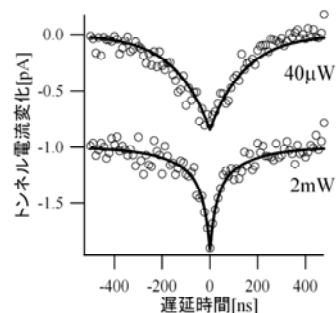


図 3 トンネル電流変化の
光強度依存性