

SPPX-STM で観測されるキャリア緩和過程の物理モデルの検証

Study of carrier 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

<http://dora.bk.tsukuba.ac.jp>

原子、分子スケールのような微小な空間領域でフェムト秒、ピコ秒で展開される現象を解析する装置として我々は遅延時間変調型パルスペア励起 STM[1] (shaken pulse-paired excited scanning tunneling microscopy : SPPX-STM) を開発した。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ー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ー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、信号が得られる。この装置を用い様々な半導体試料に対し測定を行っており、その結果からそ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[1]。

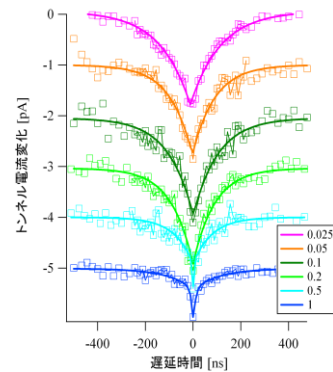


図 1 光強度別遅延時間依存トンネル電流変化

本研究では、照射するパルス光強度を変化させ計測を行い、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。試料には n 型の GaAs を用いた。

パルス照射により生成した表面キャリアは、バルク側への熱電子放出の遅い過程とトンネル電子との再結合により減衰する。SPPX-STM 信号はこの二つの減衰過程を反映したスペクトルが得られる。得られる信号の様子は光強度によって変わり(図 1)、光強度が低い場合は 100ns 程度の遅い成分(図 2 の τ_1)が観測され、光強度が高い場合には遅い成分に加え 10ns 弱の早い緩和成分(図 2 の τ_2)が観測された。後者では光キャリアの吸収飽和が強くなるため、GaAs のバルクでの再結合寿命(~ 10 ns)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、その表面での減衰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。その減衰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減衰速度が遅くなると考えられる。

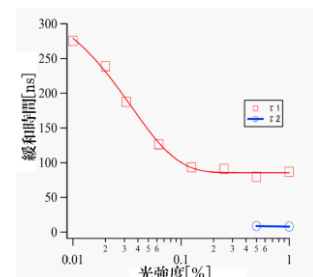


図 2 トンネル電流変化の光強度依存

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