

フェムト秒時間分解 STM

筑波大数理物質・物質創成先端科学・CREST-JST 重川秀実

「より小さく・より速く」、ナノスケール科学技術の展開の下、限界への挑戦が進められている。例えば、微細化技術の発展にともない、半導体デバイスの加工寸法は数 10nm の領域に到達し、離散したドーパントの分布や界面の粗さなど、原子スケールの局所的な構造がデバイスそのものの動作特性を左右するまでに至っている。さらに、構造の微細化に伴ってデバイスの動作速度は GHz を越え、キャリアのダイナミクスはナノ～ピコ秒のスケールで変化する。こうして微細化・高速化が高度に進んだデバイスの物理・特性を正しく評価し新しい機能を創成するためには、ドーパントやキャリアの状態を高い空間分解能で観察し、局所的に変調されたポテンシャルの中で生じるキャリアのダイナミクスを高い時間分解能で計測する技術の開発が必要不可欠である。

我々は走査トンネル顕微鏡 (Scanning tunneling microscope; STM) と量子光学の技術を組み合わせることにより、これら要求を満たす新しい計測・評価技術の開発を進めてきた。本講演では、一連の試みの中から、「遅延時間変調型パルス光対励起 STM (Shaken-pulse-pair-excited STM; SPPX-STM)」の原理と応用について最近の結果を含め紹介する。

SPPX-STM は、フェムト秒 ($1\text{fs} = 10^{-15}\text{s}$) 領域の超短パルス光を STM と組み合わせることで、原子レベルの空間分解能を持つ STM に超短パルス光による高い時間分解能をあわせて付与することを実現した計測手法である。STM 探針直下の試料表面をパルス光対の列で励起し、パルス対の時間間隔 (遅延時間) を変化させて対応するトンネル電流の変化を測定することにより、局所 (ナノスケール) 領域のキャリア密度の時間変化をサブピコ秒オーダーで解析することを可能にした。SPPX-STM では、ポンププローブ法と同様に吸収飽和の現象を利用するが光キャリア密度の時間変化を捉えるため、拡散やドリフトなど局所的なポテンシャル内でのキャリアダイナミクスを解析できる。更に、表面に存在する原子レベルの欠陥準位の物性などを評価することも可能で、試料表面を二次元的に走査して時間分解信号を測定すれば、これら局所キャリアダイナミクスの空間マッピングが可能となる。最近では、フェムト秒から数十マイクロ秒までの範囲にわたるダイナミクスを計測することができるようになり、様々な材料からなる構造を解析することも可能になった。

(<http://dora.bk.tsukuba.ac.jp> から下記文献など落とせます)

- 1) O. Takeuchi, M. Aoyama, R. Oshima, Y. Okada, H. Oigawa, N. Sano, H. Shigekawa, R. Morita and M. Yamashita: Appl. Phys. Lett. **85** (2004) 3268.
- 2) Y. Terada, M. Aoyama, H. Kondo, A. Taninaka, O. Takeuchi and H. Shigekawa: Nanotechnology **18** (2007) 044028.
- 3) 重川秀実, 吉田昭二, 寺田康彦, 武内修, 大井川治宏, 固体物理, **42** (2007) 795-804.
- 4) 吉田昭二, 蟹谷裕也, 武内修, 重川秀実, 表面科学 **28**, 2 (2007) 111-114.
- 5) 重川秀実, 吉村雅満, 河津璋編, 走査プローブ顕微鏡 -正しい実験とデータ解析のために必要なこと, 共立出版, 2009.
- 6) Mono-Cycle Photonics and Optical Scanning Tunneling Microscopy-Route to Femtosecond Angstrom Technology- ed. by M. Yamashita, H. Shigekawa and R. Morita (Springer, 2005).