

ナノ構造・超高速現象の解析・制御と次世代新機能素子開発  
への展開

Probe and control of nanoscale dynamics for the development  
of next-generation functional devices.



重川 秀実 (Hidemi Shigekawa)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授

研究の概要：走査プローブ顕微鏡に光励起の仕組みを組み合わせることにより、例えば、微細構造を持つ試料内のキャリアのダイナミクスをナノスケールで解析する技術を開発し、基礎科学の発展と次世代新機能素子開発の展開に貢献する。

研究分野/科研費の分科・細目/キーワード:(工学/応用物理学・工学基礎/走査プローブ顕微鏡、量子光学、超短パルスレーザー、ナノサイエンス、ナノテクノロジー、表面科学)

### 1. 研究開始当初の背景・動機

ナノテクノロジーを利用して、半導体・量子構造や生体材料、単一分子を融合することにより、次世代の新機能・超高速デバイスの創製・開発を進めることが、世界的に国家戦略の一つとして位置づけられ盛んに研究が進められ始めた。しかし、これら試みを実現するためには、作製された構造・機能の正しい評価が必要不可欠であるにもかかわらず、通常的手法では、複数の系からの情報や、単一系内の情報を平均化した測定結果を得て解析することを余儀なくされる。自己組織化を含め、微細構造の作製技術は大きな進展を見せているが、これら技術を基に、次世代の新しい発想に基づくデバイスを開発するためには、解析・制御技術におけるブレークスルーが望まれていた。

### 2. 研究の目的

走査トンネル顕微鏡 (STM) 及びその関連技術は、実空間で原子レベルの空間分解能を持ち、ナノスケールでの科学技術を展開する上で欠かすことの出来ない手法であるが、例えば、時間分解能に限界を持つ。一方、光を用いた測定法は、広領域に渡る分

光を可能にするだけでなく、フェムト秒領域レーザー技術の進歩に見られるように、時間的にも極限領域の測定を可能とした。しかし、一般には、波長による空間的な分解能の制約を受ける。

こうした状況の中、本プロジェクトでは、走査プローブ顕微鏡の空間的な分解能と光励起によるエネルギー及び時間領域での選択性・分解能を組み合わせることにより、新しい解析・制御技術を開拓し、ナノスケール科学の新たな展開を図ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

通常、一つの領域で極限を究める技術は他の領域の何かしらを犠牲にして達成されていることが多い。従って、本研究のように2つの最先端技術を組み合わせる場合の課題は、それぞれの長所を他方の長所の障害になることなく如何にして共生させるか、といった点にある。我々は、局所領域への安定した光照射、熱による空間分解能低減の除去、照射光変調による微弱トンネル電流計測といった課題を達成することにより、「光とSTMを組み合わせた新しい顕微鏡法」として、A. 光変調トンネル分光法、B. 時間分解STMといった基礎技術の開発を進めた。

#### 4. 研究の主な成果

まず、「光変調トンネル分光法」では、図1に示すように、pn接合における少数キャリアの流れを可視化することに成功した。マクロな結果を基に解析されてきた電流特性をナノスケールで基礎づけることに成功するとともに原子レベルでのドーパントの揺らぎに伴うダイナミクス変化などをナノスケールで求めることを可能にした(PRL-Focus に選ばれ掲載)。

一方、時間分解STMではSTMの発明以来、多くの研究者が挑戦しながら実現し得なかった時間分解トンネル電流信号の空間マッピングを可能にした。

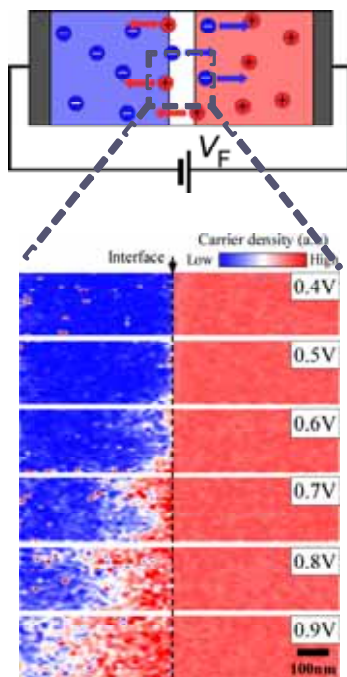


図1 GaAs-pn接合で、順方向バイアスとともにn型領域に流れ込むホールの様子(青い領域の赤色への変化)を可視化した結果の例。

#### 5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

STMの発明以来、多くの第一線の研究者が挑戦してきたが達成することのできなかつた「新しい顕微鏡」を開発することに成功したものである。10nmスケールの構造を持つ半導体デバイス開発などが進められているが、本プロジェクトで開拓さ

れた技術は、今後のナノスケールでの科学技術の展開において基礎的にも応用上も重要な役割を担うものと期待される。

#### 6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1. Microscopic Basis for the Mechanism of Carrier Dynamics in an Operating p-n Junction Examined by using Light-Modulated Scanning Tunneling Spectroscopy

S. Yoshida, Y. Kanitani, R. Oshima, Y. Okada, O. Takeuchi and **H. Shigekawa**, Phys. Rev. Lett. 98, 026802 (2007).

2. Ultrafast photoinduced carrier dynamics in GaNAs probed using femtosecond time-resolved scanning tunnelling microscopy, Y. Terada, M. Aoyama, H. Kondo, A. Taninaka, O. Takeuchi and **H. Shigekawa**

Nanotechnology 18, 044028 (2007).

3. Development of femtosecond time-resolved scanning tunneling microscopy for nanoscale science and technology.

**H. Shigekawa**, O. Takeuchi and M. Aoyama Sci. & Technol. of Advanced Materials, 6, 582-588 (2005)

4. Probing subpicosecond dynamics using pulsed laser combined scanning tunneling microscopy O. Takeuchi, M. Aoyama, R. Oshima, Y. Okada, H. Oigawa, N. Sano, **H. Shigekawa**, R. Morita and M. Yamashita

Appl. Phys. Lett. 85(15), 3268-3270 (2004).

5. Light-Modulated Scanning Tunneling Spectroscopy for Nanoscale Imaging of Surface Photovoltage

O. Takeuchi, S. Yoshida and **H. Shigekawa**

Appl. Phys. Lett. 84(18), 3645-3647 (2004).

ホームページ : <http://dora.ims.tsukuba.ac.jp/>