

筑波大学 数理物質系 重川研究室 様

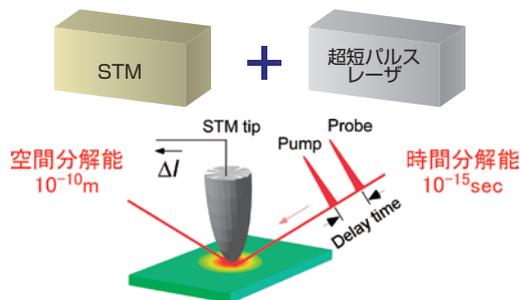

STMと超短パルスレーザーとの組合せにより 究極の極微・超高速顕微鏡を実現

主な研究内容

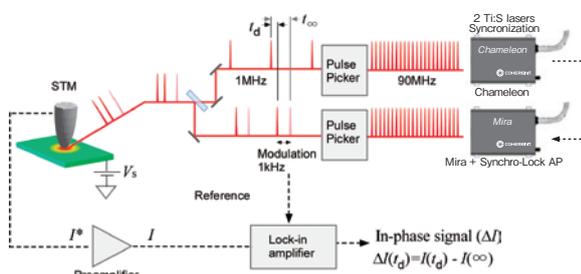
走査プローブ顕微鏡 (SPM) 技術を核として量子光学など異なる分野の先端技術を融合させることにより、極限レベルでの新しい測定技術の開発を進めるとともに、これら技術を用いることで新しい科学の展開を可能にすることを旨とした極限計測・ナノ物性研究を進めています。たとえば、試料の状態をいろいろな形で励起・制御することができる光源を、原子レベルの空間分解能を持つSPMに組み合わせれば、これまでにない方法で局在した光誘起応答の世界をのぞき見る事が可能になります。重川研究室では、常に様々なアプローチによる新たなテーマに取り組んでいますが、その中でも画期的な成果として、現在進めています。走査トンネル顕微鏡 (STM) とコヒーレント社の超短パルスレーザー (Chameleon、Mira) を組み合わせたフェムト秒時間分解STMシステムの開発研究があります。

両者を融合する新しい仕組みを取り入れることで、空間的にはオングストロームの分解能を持ち、時間的にはフェムト秒の分解能を持つ、これまでにない究極の極微・超高速顕微鏡を実現しています。

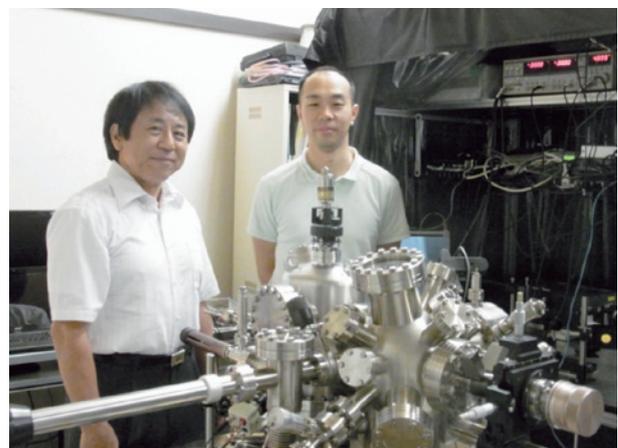
フェムト秒時間分解STMシステムの概要



時空両領域での極限的な分解能を実現



ポンププローブSTM：二つのパルス光の遅延時間の関数としてトンネル電流を計測



重川 秀実 教授(左)、吉田 昭二 助教(右)と光STMシステム

レーザー導入の決め手

「今回の研究テーマであるSTMとレーザーの融合を可能にするには、まずレーザーが長時間にわたり安定であることが重要な要素になります。また、二つのレーザーを同期させポッケルスセルによりパルス光を間引いて遅延時間を制御する仕組みを導入したり、高速ダイナミクスの短時間計測や、試料の状態を自由に制御して測定を行うには高いパワーが必要になります。更に、多様なダイナミクスを解析するには、容易に波長を変えられることが意味を持ちます。コヒーレント社のフェムト秒レーザーChameleonとMiraは、(1)十分な安定性を持ち、(2)両者を同期させ制御することが容易で、(3)Chameleonは高出力がかつ波長範囲が広い、といった特徴を持ち目的にかなう内容でした。現在は、STMとの組合せをさらに拡張する研究を進めています。」

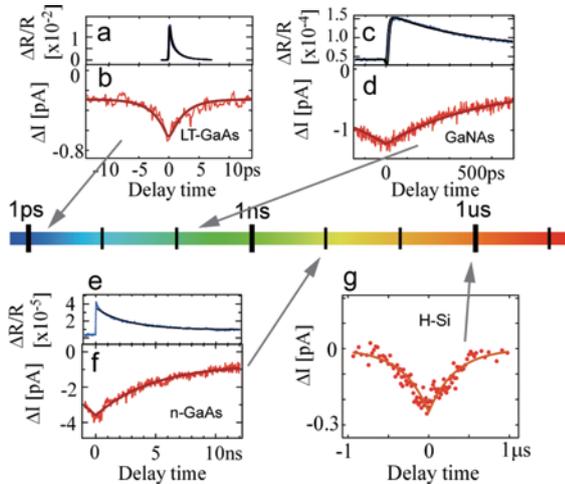
筑波大学 数理物質系 電子・物理工学専攻
重川 秀実 教授
<http://dora.ims.tsukuba.ac.jp>

参考文献：

- Nature Photonics, 4, 12, 869(2010).
- Journal of Physics: Condensed Matter 22, 264008.(2010).
- Advances in Optical Technologies, 2011, 510186 (2011).
- Nanoscale 4(3), 757(2012).

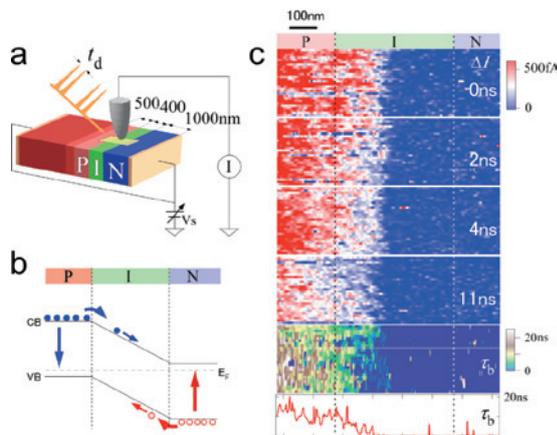
研究成果例

時間分解STMのスペクトル



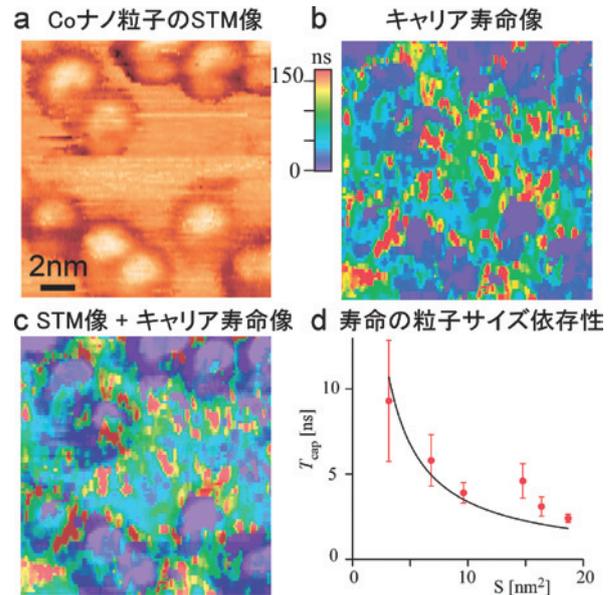
幅広い時間領域に亘り、フェムト秒レーザーによる光誘起ダイナミクスをトンネル電流(原子レベルの分解能が可能)で計測
図は、通常の光学的ポンブプローブ法による結果(a, c, e)と時間分解STMによる結果(b, d, f, g)

GaAs-PIN構造の時間分解STM



PIN構造は太陽電池などで用いられる基本的な半導体素子で、接合界面や局所構造によるポテンシャルの変化がキャリアのダイナミクスに及ぼす影響を実空間で解析する事が必要不可欠である。図は、光励起された少数キャリアの密度が時間とともに減衰の様子(右上4枚)と各場所におけるキャリア密度の減衰時間の空間マッピング像および図中の白線に沿った断面図(右図下から2枚目と一番下)で、I領域での影響が見て取れる
注: 測定条件により図は左半分が意味を持つ。

時間分解信号の実空間マッピング



金属ナノ粒子/半導体構造の電荷移動や光応答等のキャリアダイナミクスは、デバイス開発や触媒反応を制御する上で非常に重要な役割を担う。図aはCoナノ粒子/GaAs構造のSTM像。図bは図aの各点において光励起により生成されたホールが再結合し減衰する過程を計測し得られた寿命像で、図cは図aと図bを重ね合わせたものである。金属/半導体界面ではギャップ内準位を介して再結合が促進するとされてきたが、実際、コバルトの領域で寿命が短くなっている様子がSTMの空間分解能で確認された。図dはCo領域におけるキャリア寿命 T_{cap} の粒子サイズ(面積 S)依存性を測定した結果で、 $T_{cap} \propto 1/S$ の関係が見られる。

導入レーザー製品



自動波長掃引フェムト秒レーザー

Chameleon

高出力モードロックTi:Sapphireレーザー

Mira

シンクロロックシステム

Synchro-Lock AP