

ナノスケールの光による新しい電子輸送現象を解明

JST 戦略的創造研究推進事業において、マックス・プランク協会 フリッツ・ハーバー研究所の研究チームは、独自に開発した高精度の光励起・検出が可能な低温走査トンネル顕微鏡 (STM) の先端計測技術 (図 1) を用いて、ナノスケールの光である局在表面プラズモンの励起を介した共鳴トンネル型電子輸送現象の観測に成功しました。

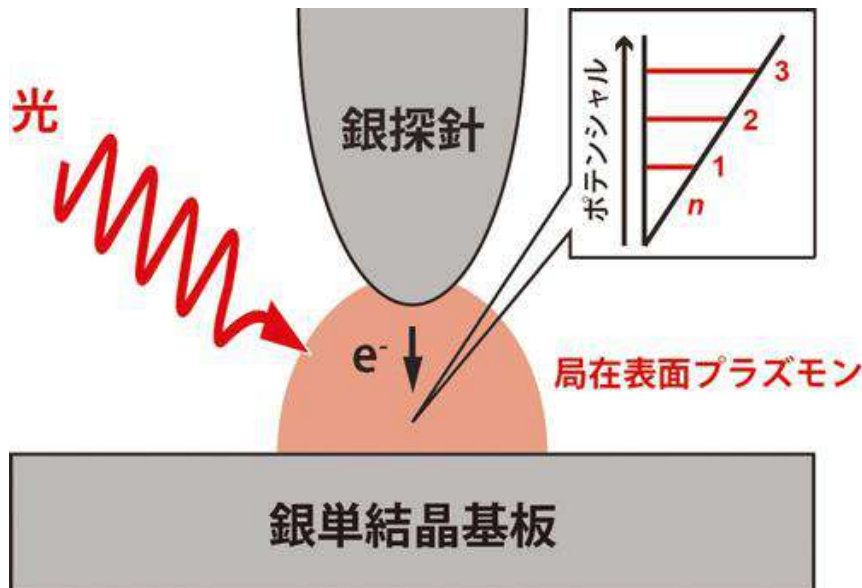


図 1 低温走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いた可視光による局在表面プラズモンの励起を介した新たな電子輸送現象のイメージ図

<研究の内容>

本研究グループは、プラズモニクス応用で重要となる金属ナノキャビティにおける表面プラズモン共鳴の励起を介した電子輸送現象を独自に開発した光励起・検出が可能な低温 STM によって調べました。今回の実験では、STM 接合を可視光域のレーザー光で照射した際に発生する表面プラズモンの励起を介した共鳴トンネル型電子輸送現象を観測することに世界で初めて成功しました。

実験は 10^{-8} Pa 以下の超高真空環境において、原子レベルで清浄化された銀単結晶表面とプラズモニクな銀および金の探針を用いた STM 接合で行いました。接合内にはポテンシャルによって閉じ込められた電子の離散的なエネルギー準位が存在しています (図 2a)。ナノスケールの局所分光法である走査トンネル分光 (STS) を使うとこれらのエネルギー準位を直接観測することができます (図 2b)。表面プラズモンの励起を介した電子の共鳴トンネル現象は STS スペクトルに現れる共鳴準位のシフトとして明瞭に観測されました (図 2b の赤線)。また、STM のトンネル電子による励起を介したプラズモン発光スペクトルを同時に取得することで、観測された現象は自由空間を伝搬する光が STM 接合の局在表面プラズモン励起を介して微小空間に閉じ込められ、接合内の局所電場が著しく増強されることによって起きていることを実験的に証明しました。

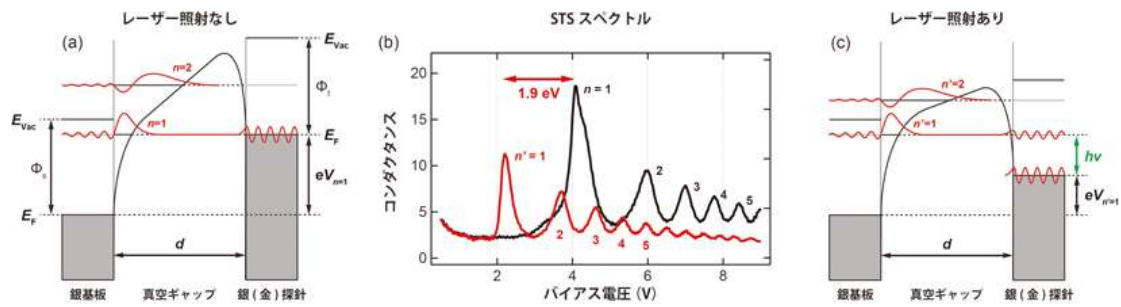


図2 STM 接合における共鳴トンネル型電子輸送の模式図と STS スペクトル

STM 接合内の局在表面プラズモンを効率的に発生させるためには、ナノスケールの STM 接合にレーザー光を精密に集光する技術が必要となります。しかし従来の装置ではそのような制御を行うことが困難でした。本研究チームは STM の測定ステージにピエゾモーターによって駆動することができる高開口数の放物面鏡を備え付けることで STM 接合への精密な集光をこれまでになく精度で行うことを可能としました。

局在表面プラズモン励起を介した電子輸送は、ナノスケールのオプトエレクトロニクスデバイスやプラズモニック太陽電池、プラズモニック触媒など多岐にわたる応用が期待されています。今回の発見はこれらの分野に貢献する重要な基礎科学的知見を与えました。また、今回開発した STM の先端計測技術によって、今後ナノスケールの光と物質の相互作用に関する新たな物理現象の発見も期待されます。

本研究成果は、米国物理学会誌「Physical Review Letters」のオンライン版に近日中に公開されます。

日文发布全文 <https://www.jst.go.jp/pr/info/info1352/index.html>