

# 光電効果の古典的見解を新たにする 超高速パルスと金ナノチップ

1905年に、アルバート・アインシュタインは光の「量子」的見解を使って光電効果の主要な性質を説明した。古典的な波動理論が主張するように、金属から放出された電子のエネルギーは光の強度とともに増加するのではなく、放出された電子の数が光子数と一致して増えるだけだ。光子エネルギー  $E = h\nu$  の関係にしたがって、各電子はエネルギーを1光子から取得し、放出された電子のエネルギーの増加は光の強度ではなく周波数  $\nu$  が増加することによってのみ可能である。

1世紀後の現在、独ゲッティンゲン大学の科学者たちは、いわゆる強い場の領域、すなわち「超高強度のレーザービームと原子や表面との相互作用」において、古典的動力学が金属ナノ構造からの光電子放出において確かに優勢であるということを実証した<sup>(1)</sup>。

ゲッティンゲン大学の科学者、ジョージ・ヘリンク氏は、「通常の光効果では1電子は1光子を吸収するが、われわれの実験では、ナノスケールの閉じ込めを脱出するために光場上の古典的乗り物を連結した電子を見出した。金ナノチップに集光させた強い数サイクルの赤外光パルスは、強度と周波数の増加につれて、電子のエネルギーの成長を引き起こし、いくつかの電子はたった1つでなく数千の光子を取得した」と語っている。

注目すべき重要なことは、量子力学がこの実験において破綻していないことだ。彼らは、高い光強度では古典的な運動が優勢であるが、弱い光領域では量子的解釈が成立していることを発

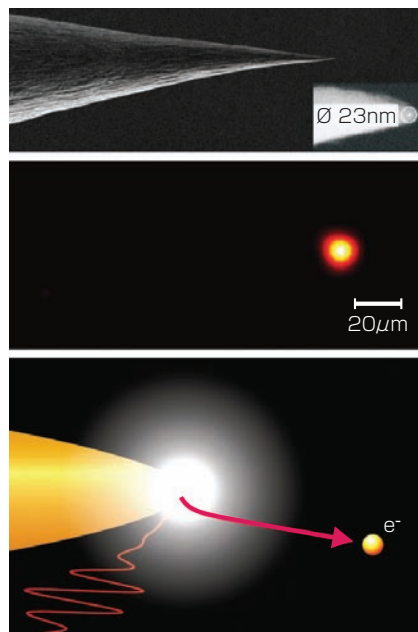


図1 SEM画像は金ナノチップ(上)とナノチップ先端からの局在光電流(中)を示す。下図はナノ局在場からの光電子の脱出トラジェクトリー(クエンチされたquiver運動)を描いている。(資料提供:ゲッティンゲン大学)

見した。これは将来の強場の物理実験にとって重要であり、フェムト秒とアト秒の時間スケールで光と電子放出を利用する新しい方式を可能にする。

## quiver運動のクエンチング

光電効果は古典論と量子論によって支配され、電子放出がケルディシュ(断熱性)パラメータ $\gamma$ で特徴付けられる。それは金属の仕事関数とボンデロモーティブ(動重力)エネルギーとの関係を表し、後者は強レーザー場内の電子振動(quivering)の運動エネルギーに対応する。強場領域( $\gamma \ll 1$ )では、電子エネルギーはもはや個々の光子のそれではなく、高強度と長波長で高くなるボンデロモーティブエネルギーに相当する。

報告された実験において、電子は最も強い場(ナノチップ先端)の領域から光の半サイクル内に放出された。この過程があまりにも高速なので、電子のquiver運動は抑制されるか、クエンチされた。

研究者たちは、最高8 μmまでの波長可変フェムト秒パルス、電気化学的にエッチングされた曲率半径約10 nmの金チップの先端に超高真空中で集光させ、ケルディシュパラメータが約0.1と低い強い場領域における光電子の運動エネルギースペクトルを詳細に調べた。彼らは、ナノチップ先端での光電子放出が入力レーザー強度と波長に関係して、最高数百電子ボルトの運動エネルギーで観察されることを見出した。これは古典的動力学だが、ナノ構造によって改変された特徴を持つことを示している。

研究リーダーのクラウス・ローパース教授は、「原子と分子のシステムにおける強場領域の研究はすでに過去数十年の間にエキサイティングな結果を生み出している。いまや、ナノ構造は強い場の効果を操作し、制御するためのまったく新しいアリーナをわれわれに提供する。われわれが見出した、このタイプの『新古典』動力学は、これらの新しい研究分野をうまく説明する」と語っている。

研究主幹のダニエル・ソーリ氏は、「われわれの発見に基づいて、現在ナノスケールのトラック上の電子を操舵する新しいツールを開発している」と述べた。

(Gail Overton)

## 参考文献

(1) G. Herink et al., Nature, 483, 7388, 190-193 (March 8, 2012).