

プロジェクト名： 放電プラズマを用いた金属の仕事関数測定

プロジェクト代表者： 大向 隆三 (教育学部・准教授)

1 はじめに

現代のエレクトロニクス研究においては、固体の電氣的性質を探索することが重要である。固体表面近傍における物質と光の相互作用を調べることは、物質の高機能化やデバイス化に向けて物性物理学の見地から学術的意義が大きい。このような物理現象の基礎となるのは金属の光電効果である。光電効果は金属表面に光を照射したときに電子が放出される現象であるが、それを理解するうえで「仕事関数」と呼ばれる物理量が大きな役割を果たす。仕事関数を測定する方法としては従来から、熱電子放出や光電子分光などの手法が用いられてきたが、いずれも大規模で複雑な装置システムを必要とし、測定精度も 0.01eV 程度であった。そこで本研究では物質の電氣的性質を研究するために欠かせない仕事関数を、新しい方法で、従来よりも高精度かつ簡便に計測する技術を開発する。我々は原子吸光分析に用いられるホロカソードランプを光電管として初めて利用し、単一の元素からなる電極（陰極）へ単一波長光を入射させる。入射光波長を変化させながらランプ中に生成した放電プラズマのインピーダンスをリアルタイムに計測し、その変化から高感度に金属の仕事関数の値を測定することを試みる。

2 実験結果と考察

本研究では、ホロカソードランプの陰極物質として、もっとも仕事関数の値が小さいセシウム (Cs) を選んだ。ホロカソードランプを用いて光電効果を観測できるかどうか確認するために、まず GaN 半導体レーザー（波長 400 nm ）を光源として光電効果信号の検出実験を行った。実験配置を図 1 に示す。

Cs の仕事関数（限界波長）は 640 nm であることが知られており、波長 400 nm のレーザー光照射で光電効果が生じるはずである。レーザー光はチョッパーを通して強度変調 (1.6 kHz) をかけたあと、ランプの陰極に照射した。放電プラズマのインピーダンス変化を抵抗 ($30\text{ k}\Omega$) とコンデンサ ($0.1\text{ }\mu\text{F}$) を経由して交流成分だけ取り出し、出力信号をオシロスコープで直接観察した。実験結果を図 2 に示す。図 2 の横軸は時間、縦軸は検出された電圧を示す。チョッパーによる光の on-off に合わせて、約 1.6 ms の周期で規則的に変化する信号が得られた。このことから、この信号が光電効果により生じた信号であることが確認できた。光電効果信号の強度は、変動する信号の段差に相当する電圧値と考えられる。

次に、照射光の波長を変えた時に光電効果の信号強度がどのように変化するかを調べた。実験では、今までの半導体レーザーの代わりに出力 100 W のハロゲンランプを光源として使い、バンドパスフィルターで波長を制限した単色光を照射した。バンドパスフィルターを通した光を用いるので、光電効果信

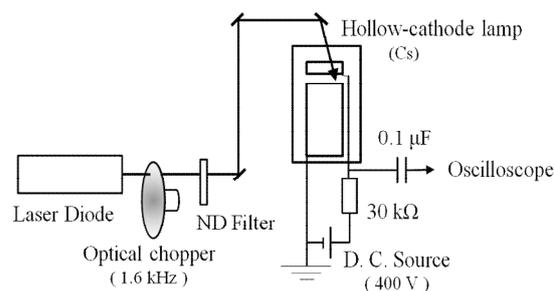


Fig. 1 実験配置

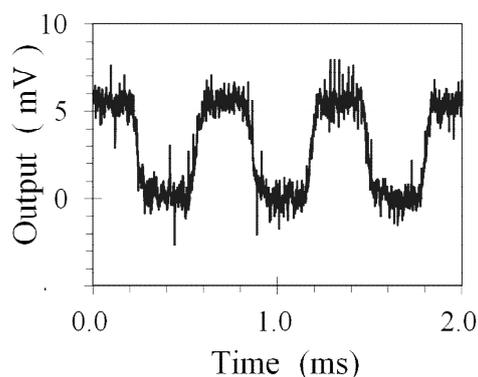


Fig. 2 光電効果信号検出結果

号の低下が予想されたため、今回はロックインアンプを使用した。バンドパスフィルターは透過率50%となる半値全幅が波長にして10 nmのものを使用した。バンドパスフィルターの中心波長を620 nmから690 nmまで、およそ10 nmごとに変化させたときに得られた光電効果信号強度を図3に示す。先述の通りCsの常温での限界波長はおよそ640 nmであるので、我々は当初その値を境にステップ的に信号強度が変化

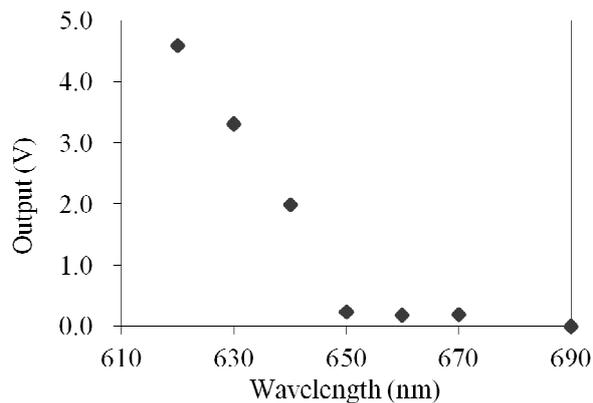


Fig. 3 入射光波長による光電効果信号の変化

するものと予想したが、実際はそうならなかった。入射光波長を長くしていくと光電効果信号はゆっくりと減少していき、650 nmではほぼ信号強度がゼロとなった。限界波長である640 nmでもピーク時の約半分の強度の信号が得られた。つまり、光電効果信号の大きさは、単に入射光波長が限界波長よりも長いかわりか短いかだけで決まる訳ではないことがわかった。そこで我々は量子効率を考慮して再度光電効果信号強度の入射光波長依存性を考察した。

仕事関数付近での量子効率 (Y) は、プランク定数を h 、入射光周波数を ν 、仕事関数を Φ として以下の式で表されることが知られている。

$$\sqrt{Y} \propto h\nu - e\Phi$$

これを用いて光電効果信号強度 (I) を式で表すと、

$$I \propto \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)^2$$

となる。ここで λ_0 は金属の限界波長である。この式を用いて図3の実験データとのフィッティングを行い、限界波長を求めることを試みた。その結果、限界波長の値を671 nmとしたとき、うまく図3の実験データを再現できた。このときの相関係数は0.98であった。このことから、我々が今回測定した条件下でのCsの限界波長は671 nm、仕事関数の値はそこから1.85 eVであると求められた。

今回得られたCsの限界波長の値は常温における値(640 nm)に比べて大きな値が得られた。この差は、今回の測定がランプ内で放電させた状態の陰極で生じる光電効果を観測したために生じたと考えられる。放電中は高電圧をランプ内の電極間に印加しているため、非常に強い電場が生じている。従って陰極内の電子が力を受けて、金属表面から飛び出しやすくなっているため、限界波長が見かけ上大きな値(仕事関数の値としては小さい値)として観測されたと考えられる。

3 まとめ

我々は、初めてホロカソードランプで光電効果が観測できることを実験によって示し、白色光電からの光をバンドパスフィルターで単色化した光を用いてCsの仕事関数(限界波長)を決定することができた。今後、測定で得られる仕事関数値に影響する放電の効果を明らかにするとともに、他の金属についてもこの方法を適応して仕事関数を測定するなどし、本手法を汎用的な仕事関数測定法として確立させるための研究を継続する。