

阻止電場型電子エネルギー分析器と光電子ホログラフィー

○松下 智裕^{1*}¹奈良先端科学技術大学院大学

Retarding field electron energy analyzer and photoelectron holography

○Tomohiro Matsushita¹¹Nara Institute of Science and Technology

光電子ホログラフィーは従来の光電子回折と同様の測定法である。物質に軟X線を照射し、内殻光電子の放出角度分布の測定を広い立体角に渡って行う。光電子が物質内を移動する際に、原子によって散乱されるため、その干渉縞が光電子角度分布に表れる。この干渉縞をホログラムとして扱い、光電子を放出した原子(エミッタ)の周囲の立体原子配列を再構成するのが光電子ホログラフィーである。内殻光電子分光では元素の種類の特定に加え、内殻準位の変化(ケミカルシフト)による化学状態(価数)も得られる。さらに、光電子ホログラフィーではそれぞれの化学状態の原子配列が得られる。ただし、測定では試料側に条件が必要である。例えば通常の電子線回折では測定試料に原子配列の周期性が要求される強い要請がある。光電子回折はその要請ではなく、軟X線を照射した範囲で、エミッタの周囲の構造が「配向」している必要がある。この要請の緩和から、新たに測定可能となる原子配列は、結晶中のドーパント(不純物)、周期配列していない結晶表面の吸着子、結晶上の薄膜の埋もれた界面構造などが挙げられる。今まで測定が難しかった原子構造情報にアクセスできるため、今後の応用が期待される。

光電子を広い立体角で測定するため、市販の電子エネルギー分析器を使用すると測定に時間がかかる。サンプルを回転走査しながら、光電子放出分布を測定する為である。この問題に対応するため、SPring-8の二次元表示型電子エネルギー分析器 DIANA を利用してきた。さらなる高性能化を求め、近年、室氏(元 JASRI 研究員)と共に発明をしたのが、阻止電場型電子エネルギー分析器¹である(Fig. 1a)。通常の LEED 装置と同様であるが、電極間配置を工夫することで、従来の LEED 装置の 5 倍以上の高いエネルギー分解を持ちつつ、約±50° の広い立体角を測定できる。この装置は SPring-8 BL25SU にて共同利用可能である。

また、データの解析理論の研究も進めてきた。光電

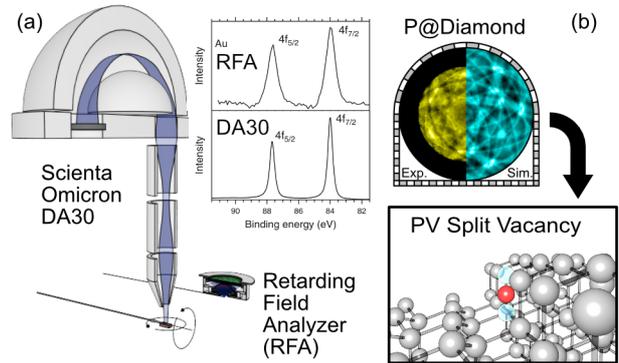


Fig. 1. (a) 通常の分析器と阻止電位型電子エネルギー分析器。 (b) ダイヤモンド不純物の原子配列。

子ホログラフィーの立体原子像再構成理論²をいくつか発表した。これは量子散乱理論と機械学習理論を応用したものである。この原子像再構成に加え、データ処理やシミュレーションが可能なソフトウェアパッケージ 3D-AIR-IMAGE を開発している。これはインターネットからダウンロードできる。

これらの装置と理論を用いて測定した例を挙げると、グラファイト層間化合物³、Si 半導体不純物⁴、ダイヤモンドの不純物⁵ (Fig. 1(b)) 等がある。現在も超伝導物質、表面薄膜などへ応用の研究が進んでいる。

文 献

- 1) T. Muro, T. Matsushita, et al.: J. Synchrotron Rad. **28**, 1669 (2021).
- 2) T. Matsushita, et al.: J. Phys. Soc. Jpn., **87**, 061002 (2018).
- 3) F. Matsui, T. Matsushita, et al.: Sci. Rep., **6**, 36258 (2016).
- 4) K. Tsutsui, T. Matsushita, et al.: Nano Lett., **17**, 7533 (2017).
- 5) T. Yokoya, T. Matsushita, et al.: Nano Lett., **19**, 5915 (2019).

*E-mail: t-matsushita@ms.nasit.jp