

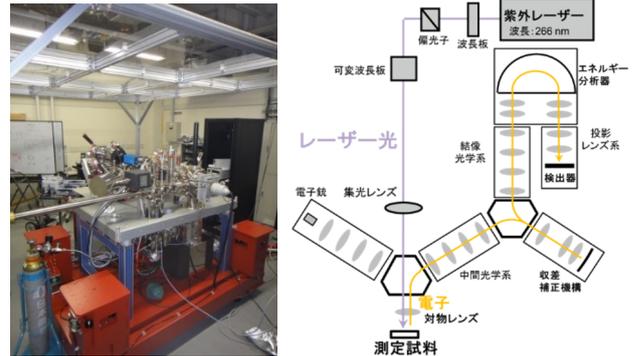
超高分解能光電子顕微鏡の開発とチタン酸化物の表面強磁性 ～レアメタルを使わないナノ磁石～

極限コヒーレント光科学研究センター 辛 埴、谷内 敏之

「光」を用いた顕微分光はモノの形を可視化するだけでなく、化学状態や構造、磁性等の性質を可視化することができる。しかし、10nm程度まで極細化が進んだ最近の電子デバイスのナノ構造を観測するには空間分解能が足りない。一方、「電子」を用いた顕微手法は、その高い空間分解能によって原子レベルまでの微細構造の情報を与えてくれるが試料に対して破壊的であるという欠点がある。そのために、深紫外レーザーを新たに開発する事によって、「光」と「電子」のそれぞれの顕微手法の長所を併せ持つ新しい顕微計測の開発を行った。

光電子顕微鏡(PEEM)は一般的な電子顕微鏡とは異なり、励起源として「光」を利用することにより、物性をより直接的に可視化することが可能な顕微手法であり、非破壊・電子状態に敏感なコントラスト・適度な検出深さ・電子状態の直接観測といった優れた特長を持っているが、分解能が足りないという欠点があった。しかし、我々は、PEEMの分解能が主として光電子のスペースチャージ効果によって決まっており、フェルミエネルギーからの閾値のエネルギーを持つCW光で励起した顕微光電子分光を用いれば分解能が計算値限界まで上がることを明らかにした。実際、図1のように、266nm(4.66eV)の波長(エネルギー)を持つ紫外CWレーザーを用いることで世界最高の空間分解能 2.6nm を達成する事が出来た[1]。この空間分解能は予想した設計通りの値を得ることが出来た。これまでのPEEMの分解能を10倍以上も向上させることが出来た。この分解能は衝撃的だったらしく、この分野の著名な外国の方から、とても信じられないというメールを何通か受け取っている。また、この新しいレーザーPEEMは、バルク敏感な光を利用しているために、電極の下に埋もれた絶縁膜中の電子状態を可視化する事が出来るようになった。埋もれた界面ナノ物性の可視化を実現すると同時に、デバイス動作下でのオペランド計測手法を確立した。ものづくりにおける実デバイスの強力な評価手法となり得る。また、光の円偏光を用いた円2色性を用いてPEEMを測定すれば、強磁性体の磁区ドメインを測ることが出来る。実際、垂直磁化膜で有名な、FePtで磁区ドメインを測定することが出来た[1]。一方、直線偏光を用いた線2色性では、

反強磁性体の磁区ドメインを測定することが出来る。実験装置の詳しい説明は文献[1]に書かれている。



(図1) 東京大学物性研究所で開発した超高感度・高分解能レーザー光電子顕微鏡

測定試料に紫外レーザーを照射することで試料表面から伝導電子を放出させる。放出した電子(光電子)は電子レンズをいて拡大結像される。これにより伝導電子が持つ磁気状態などを可視化することが可能となる。本グループは解像度(空間分解能)を下げる要因のひとつであった電子レンズの収差を補正する機構を持ち、世界最高の空間分解能を達成した。

酸化物の表面や界面において、強磁性体になる事が、最近、報告されるようになってきた。特に、 LaAlO_3 と SrTiO_3 の界面強磁性は、有名である。しかし、界面の磁性について、信頼ある実験を行うことは難しく、磁性不純物による可能性が高く、その真偽がいまでも議論されている。

我々が、チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)そのものの表面のPEEMを測定したのは偶然である。元々、 SrTiO_3 は磁性を担う伝導電子が全く存在しないので、バルクでは強磁性を示さない。しかし今回、真空中での短時間の加熱処理がチタン酸ストロンチウムの結晶の表面を室温強磁性層に変えることを、PEEMを用いた円2色性実験により発見する事が出来た[2]。また、なおかつ強い垂直磁化を示すことを発見した。本来絶縁体であるチタン酸ストロンチウムの結晶表面に酸素原子がわずかに足りない環境をつくと、表面に微量の伝導電子が生成され、それが理想的な表面伝導を示す層(2次元電子ガス)を形成することが明らかになった。本研究グループは、この伝導電子を持つ特殊

