

表面および強磁性、反強磁性金属との界面における

NiO 反強磁性磁区ドメイン構造の観察

Observation of antiferromagnetic domain structure of NiO at the surface and the interface with the ferromagnetic or antiferromagnetic materials

奥田太一¹、孫海林¹、木下豊彦^{1,2}、郭 方准²、室隆桂之²、松下智裕²、為則祐介²、

小林啓介²、清水宏³、中口明彦³、越川孝範³、宮田洋明⁴

T. Okuda¹, H-L. Sun¹, T. Kinoshita^{1,2}, F-Z. Guo², T. Muro², T. Matsushita², Y. Tamenori², K.

Kobayashi², H. Shimizu³, A. Nakaguchi³, T. Koshikawa³, and H. Miyata⁴

¹ 東京大学物性研究所、²JASRI、³大阪電通大、⁴東レリサーチセンター

¹ ISSP, The Univ. Tokyo, ²JASRI, ³Osaka Electro communication Univ. ⁴ Toray research center

典型的な反強磁性体である NiO(001)表面の反強磁性磁区ドメイン構造を高エネルギー及び空間分解能の光電子顕微鏡(PEEM)で観察した。SPring-8 の BL27SU に設置された Figure-8 アンジュレータを利用することにより縦横偏光を使い分けて表面の観察を行うことによりこれまでにつきりととらえることのできなかつた複雑なドメイン構造を観察することができた。また、O の K 吸収端を利用するとスピンではなく格子ひずみに起因するドメイン構造を観測することができるが、この OK 端と NiL 端の光を用いて観察することにより今回の実験では 12 種類存在する NiO の反強磁性磁区ドメインの内 7 種類を区別して観測することができた。

We have been performed the anti-ferro magnetic (AFM) domain observation of NiO(001) by means of the Photoemission electron microscope(PEEM) in high-spatial and energy resolution. Utilizing the vertical and horizontal polarized light provided by the Figure-8 undulator at the beamline 27SU of SPring-8, we could observe the detailed AFM domain structure of the NiO substrate. The domain structure observed by the photon energy at O K edge is due to the natural linear dichroism caused by an asymmetric O 2p orbital due to the strong crystal distortion of the NiO. By means of the PEEM observation with O K edge as well as Ni L edge we could distinguish the 7 of 12 kinds of AFM domain structures in this experiment.

イントロダクション

強磁性／反強磁性界面はいわゆる交換バイアスが生じる系として注目を集めてきた。

この交換バイアス現象は磁気記憶材料など

様々な応用に既に用いられているが、そのメカニズムについてはまだ完全に理解されては

いない。交換バイアス機構を理解し、またナノテクノロジーを含めた応用分野に生かしていくためには下地となる反強磁性の特性を調べることが重要である。反強磁性体では磁気モーメントが打ち消し合い、巨視的な磁気モーメントを持たないため、磁区ドメイン構造の直接観察は通常の方法では困難である。しかしながら X 線磁気線二色性 (X-ray-magnetic linear dichroism: XMLD) と光電子顕微鏡 (photoemission electron microscope : PEEM) を組み合わせることによりその微小ドメイン構造を観測することが可能であることが様々な反強磁性体について示されてきた。[1]

NiO は典型的な反強磁性体(ネール温度 523 K)で、NaCl 型の結晶構造を持つが、磁歪のためネール点以下で<111>軸方向に歪んで菱面対称型に変形することが知られている。各々の(111)面内では磁気モーメントは強磁的に配列しその強磁性シートが反強磁的に積層された構造を持つ。菱面対称型に結晶が歪むために結晶は多くの双晶構造をもち、この双晶構造により 4 種類の T(win)-ドメインといわれる磁気ドメインが現れる。さらに(111)面内ではスピンは<11-2>方向に配列しているが、独立な 3 種の<11-2>方向が各(111)面内に存在するため 3 種のスピンに起因する S(pin)-ドメインが存在し得る。NiO(001)のこれまでの XMLD を利用した PEEM の観察では主に T-ドメインに起因するコントラストが観察されていた。今回は高空間分解能光電子顕微鏡と高エネルギー分解能および偏高度の光を用いることによりこの NiO(001)の反強磁性磁区ドメインの精密観察を試みた。

実験

実験は SPring-8 の BL27-SU に設置された光電子顕微鏡 SPELEEM (Spectroscopic PhotoEmission and Low-Energy Electron Microscopy, ELMITEC GmbH) を用いて行った。サンプルは NiO(001) 単結晶で大気中で劈開した後、直ちに超高真空チャンバーに搬送した。試料準備槽で 150°C で一晩脱ガスした後測定槽に搬送し、室温で測定を行った。

結果と考察

図 1 は Ni L_2 吸収端のダブルピーク ($h\nu=869.9$ eV, 871.2 eV) に相当するエネルギーの横偏光を用いて観測した NiO(001) 面の PEEM 像である。異なるコントラストを異なる色で表している。図を見れば明らかなようにこれまでの NiO の PEEM 像に比べ数多くコントラストが現れており数多くのドメイン構造が観察されていることがわかる。観測されたドメイン構造は T-ドメイン構造に典型的な<100> や<110> 方向に境界を持つシャープなドメインだけでなく、その中に複雑な形状の

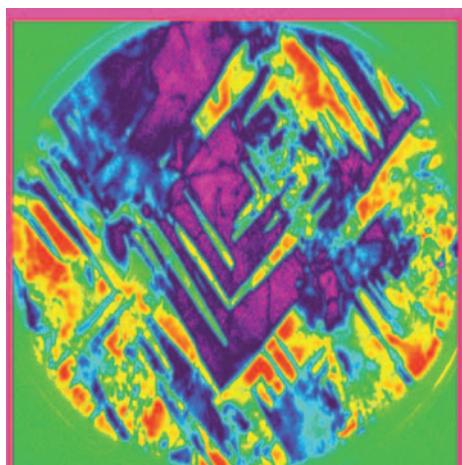


Fig.1 Antiferromagnetic domain structure of NiO(001) observed by Ni L_2 edge with horizontally polarized light.. The different color indicates the different magnetic domain. The field of view was 75 μm .

異なるドメインが有ることがはっきりとわかる。これは S -ドメイン構造に起因する物と考えられる。一方酸素の K 端で観測した像は、より単純な構造を持っている。横偏光で観測した場合は二色((Fig.2(a)), 縦偏光では三色((Fig.2(b)))のコントラストが現れている。これまでの研究で $O\ K$ 端によるドメイン構造は NiO が磁歪により結晶構造が非対称となつたために酸素の結合軌道が非対称になるために生じる磁性とは無関係の二色性による物と考えられている。[2]従ってこの構造は T -ドメイン構造を主に反映した構造になっていると考えられる。従って、 $\text{Ni}\ L$ 端で観測された複雑なドメイン構造は T -ドメインの中の S -ドメイ

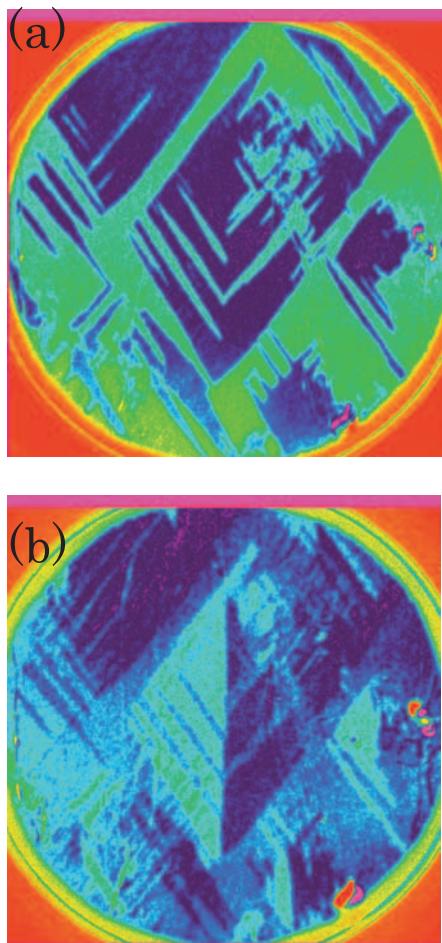


Fig.2 Same to Fig. 1 but observed by $O\ K$ edge with
(a) horizontal and (b) vertical polarized light..
These domain structures reflect only T - domain
structure.

ン構造を反映した物であると考えられる。

今回の実験により Ni の L_2 吸収端の縦横偏光だけでなく O の K 吸収端を用いた測定を行うことにより、 NiO の反強磁性磁区ドメインを T -ドメインだけでなく S -ドメインも区別して観測可能であることが示された。本研究では 12 種の内 7 種のドメインが区別できた。また、ここでは示さないが NiL_3 吸収端に於いてこれまでに観測されていないダブルピーク構造が観測され、このダブルピークにおいても強い MLD が存在することも観測された。今後その起因などについてさらに探っていくつもりである。また、in-situ で強磁性や反強磁性金属を蒸着した際のドメイン構造の変化についても観測し、交換バイアスについても知見を得たいと考えている。

参考文献

- [1] F.U. Hillebrecht *et al.* Phys. Rev. Lett. **86**, 3419 (2001) and references therein.
- [2] T. Kinoshita *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **73**, 2932 (2004).

キーワード

・光電子顕微鏡

物質から放出される光電子の分布をナノメーターの高分解能で観察できる顕微鏡

・磁気線二色性

磁性体の内殻電子を直線偏光で励起した際に直線偏光の偏光ベクトルと物質の磁気モーメントの向きの違いにより光の吸収強度に違いが生じる現象。