

## 萌芽的研究支援課題 報告書

氏名(フリガナ) : 新井邦明(アライクニアキ)  
所属機関 : 東京大学大学院  
学年 : 博士課程 2 年  
課題番号 : 2008A1723  
利用ビームライン : BL17SU  
課題名 : NiO(100)における磁氣的に安定な反強磁性磁区構造の解明  
研究成果番号 :

### 研究背景

近年、反強磁性層と強磁性層の界面で生じる交換バイアスは、ハードディスクの読み取りヘッド等の磁気記録デバイスに利用されている。交換バイアスのメカニズムの解明は、磁気記録デバイスの更なる特性の向上に不可欠である。交換バイアスの大きさは、反強磁性スピン構造、反強磁性磁壁構造などに依存するため、反強磁性磁区構造について研究がなされてきた。磁気線二色性 (MLD) は、反強磁性スピン軸方向を直接観測できることと、近年の放射光光源の発達や理論研究の進展により、MLD を用いた反強磁性磁気構造の研究が盛んに行われている。特に、典型的な反強磁性体である NiO は、ネール温度が室温よりも高く、比較的単純な結晶構造を持つことから、昔から研究がなされている。これまで、D. Alders らによって、Ni L<sub>2</sub> 吸収端における 2 つの吸収ピーク比が  $3\cos^2\theta-1$  ( $\theta$  は偏光ベクトルとスピン軸のなす角度) に比例することが示された[1]。また、F.U.Hillebrecht らにより、光電子顕微鏡 (PEEM) を用いた局所領域 MLD により、上記の報告が正しいことが示された[2,3]。しかし、近年、E. Arenholz らにより、NiO(001) において水平偏光ベクトル方向が[001]のときは、上記の報告と結果が一致するが、[011]のときは、異なる結果を示すという報告がなされた[4]。したがって、NiO の MLD について統一的な理解が得られていない。NiO のスピン容易軸は全部で 12 種類存在し、スピンによるドメイン (S ドメイン) だけでなく結晶歪によるドメイン (T ドメイン) も存在するため、磁区構造は複雑である。上記のこれまでの報告では、S ドメインのみの情報しか得られておらず、MLD のみによる詳細な S ドメインのアサインは困難である[2,3]。また、NiO(001)表面上に Co 薄膜をのせた系において磁場印加中の MLD 測定をしているので、バルクの NiO のスピン情報を直接観測しているとは言い難い[4]。そのため、T と S ドメイン両方の情報を直接観測し、S ドメインの局所領域 MLD を取得する必要がある。これまでの報告では、1 つの T ドメイン内の 1 種類の S ドメイン (シングル S ドメイン) の MLD しか観測されていない[2,3]。T ドメイン内には 3 種類の S ドメインが存在しうるので、4 種類の T ドメインと、1 つの T ドメイン内に 3 種類の S ドメインが存在しうる領域で、局所領域 LD と MLD を取得した方が、よりスピン軸方向と MLD の関係および軌道の異方性と結晶歪方向 (T ドメイン) の関係を明らかにできる。

一方、反強磁性磁区構造に関しては、MLD と PEEM を用いた手法により、その詳細が明らかになりつつある。しかしながら、上述したように、NiO の磁区構造は複雑であるため、磁壁構造などほとんど分かっていない。磁区構造の理解には、磁壁構造のメカニズムの理解が必要である。これまでの我々による実験結果により、NiO をネール温度以上に加熱すると、{011}T-wall が減少し、{001}T-wall が増加することが分かった。これは、{011}T-wall よりも{001}T-wall エネルギーが小さいことを示唆する結果である。この T-wall エネルギーの差異は、結晶方位に依存する交換エネルギーの差異によることが理論的に示唆されており[5]、実験的には未だに明らかにされていない。

## 実験目的

本課題では、PEEM を用いて NiO(100)の局所領域 O K 吸収端における線二色性(LD)[6]、Ni L<sub>2</sub> 吸収端における MLD を取得することにより、T と S ドメインを直接観測し、MLD とスピン軸の関係、O 2p 軌道の異方性による LD と Ni スピンによる MLD の関係、結晶方位に依存する T-wall エネルギーの差異の原因を明らかにすることである。これにより、T と S ドメインの完全なアサインを行い、この系の磁区構造についての知見を深める。

## 実験方法

実験は、BL17SU の PEEM を用いて行った。試料は、へき開された NiO(100)を用いた。結晶方位と表面構造を確認するため、低エネルギー電子回折(LEED)を用いて確認した。次に、直線偏光と垂直偏光による、OK 吸収端における LD と Ni L<sub>2</sub> 吸収端における MLD を用いて、4 種類の T ドメインと T ドメイン内に 3 種類の S ドメインが存在する領域を探し出し、T ドメイン内の LD と S ドメイン内の MLD の面内角度依存性を取得し、スピンと MLD の関係、O 2p 軌道の異方性による LD と MLD の関係を調べた。また、局所領域 MLD の面内角度依存性から、T-wall 内のスピン構造を直接観察した[7]。

## 実験結果と考察

図1に Ni L<sub>2</sub> 吸収端(a)と O K 吸収端(b)における吸収スペクトルを示す。図1(a)の2つのピーク(869.25 & 870.52eV)で強い MLD が現れることを確認した。また、図1(b)の O K 吸収端における吸収ピーク近傍(531.09 & 531.69 eV)で強い LD が現れることを確認した。これは、これまでの我々による実験結果[8]および以前の研究報告[1-3]と一致している。

図2に、水平&垂直偏光による LD と MLD イメージを示す。これらのイメージは、図 1 に示した O K 吸収端と Ni L<sub>2</sub> 吸収端の2つの photon energy で取得したイメージを割り算(高エネルギー/低エネルギー)することにより得た。これにより磁気コントラストを強め、光の強度ムラ等によるバックグラウンドを低減できる。LD は、O 2p 軌道の異方性による二色性であり、結晶歪方向を反映しているので、LD イメージは T ドメイン構造を示している。また、MLD はスピン軸の情報を反映しているので、MLD イメージは S ドメイン構造を示している。試料を面内回転したときの LD と MLD コントラストの変化から、垂直偏光の場合の LD と MLD イメージ(図2(b)&(d))において 4 種類の T ドメイン、1つ

の Tドメイン内に 3 種類の Sドメインが存在することが分かった。また、図 2(b)の LD イメージから、T-wall が<001>&<011>方向に走っており、図2(d)の MLD イメージでは、1つの Tドメイン内に 3 種類の Sドメインが存在していることから、バルクの磁区構造を反映していると考えられる。

図 3 に水平偏光(a)と垂直偏光(b)を用いた際の Ni L<sub>2</sub> 吸収端の吸収ピーク比を示した。MLD を取得した領域は、図 2(d)に示されている色線で囲まれた領域であり、1つの Tドメイン内の 3 種類の Sドメインである。吸収ピーク比は、3 種類の Sドメイン内の図1(a)の2つの吸収ピーク比である。図 3 を見ると、観測された結晶方位に対する MLD の変化は、sin 関数で fitting でき、スピン軸方向を反映していると考えられる。分子場を考慮した理論計算と比較したところ、定性的にはよい一致を示したが、定量的には一致していない。そのため、測定データのバックグラウンド等を除去するなどして、再度、比較する予定である。また、4 種類の Tドメイン内の LD の結晶方位依存性も取得したが、バックグラウンドが大きく、sin 関数では fitting できていないが、O 2p 軌道の異方性を反映した、LD コントラストの変化を観測できた。今後、結晶場などの効果を取り入れた理論計算と比較することにより、MLD とスピン軸方向の関係、LD と結晶歪方向、O 2p 軌道の異方性の関係を調べ、T と Sドメインのアサインを行う予定である。

また、水平偏光による Ni L<sub>2</sub> 吸収端での MLD を用いることにより、{001}と{011}T-wall の直接観察に成功した。図 4(a)と(c)は、入射水平偏光ベクトルが(a)[001]方向と(c)[01-1]方向のときの Ni L<sub>2</sub> 吸収端における MLD を反映したイメージを示している。図 4(b)と(d)は、{001}と{011}T-wall 内の吸収強度の line profile を示している。Line profile をガウス関数で fitting し、{001}と{011}T-wall 幅を見積もった結果、それぞれ 274 nm と 517 nm であった。この結果は、{001}T-wall のエネルギーが{011}T-wall のそれよりも小さいことを示しており、この磁壁エネルギーの差異は、以前の理論による報告で示唆されたように[5]、交換エネルギーによる差異であると考えられる。また、試料表面に平行な水平偏光による吸収強度の面内角度依存性を取得した結果、T-wall が wall 内で試料表面に対して平行なスピン分布（ネール磁壁）をもつことが分かった。今後は、これらの T-wall に隣接した Sドメインのスピン軸を決定し、上記の磁壁エネルギーの差異の原因を明らかにする。

## 参考文献

- [1] D.Alders *et al.*, Europhys. Lett. 32, 259(1995).
- [2] F.U.Hillebrecht *et al.*, Phys.Rev.Lett. 86.3419 (2001).
- [3] H.Ohldag *et al.*, Phys.Rev.Lett. 86.2878 (2001).
- [4] E.Arenholz *et al.*, Phys.Rev.Lett. 98, 197201(2007).
- [5] T. Yamada: J.Phys.Soc.Japan 21, 650(1966).
- [6] T.Kinoshita *et al.*, J.Phys.Soc.Jpn. 73(2004)2932.
- [7] N.B.Weber *et al.*, Phys.Rev.Lett. 91,237205(2003).
- [8] K. Arai *et al.*, (to be published).

参考図

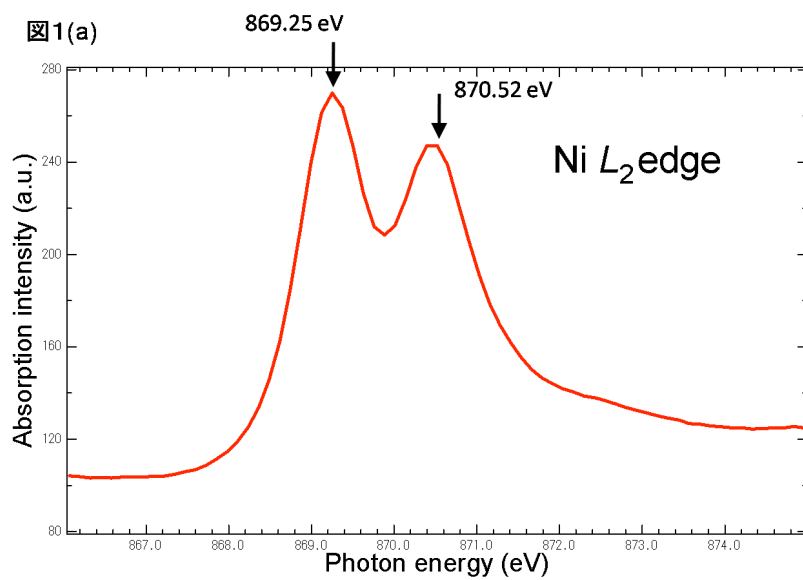


図1(a) NiO(100)の Ni  $L_2$  吸収端の吸収スペクトル。

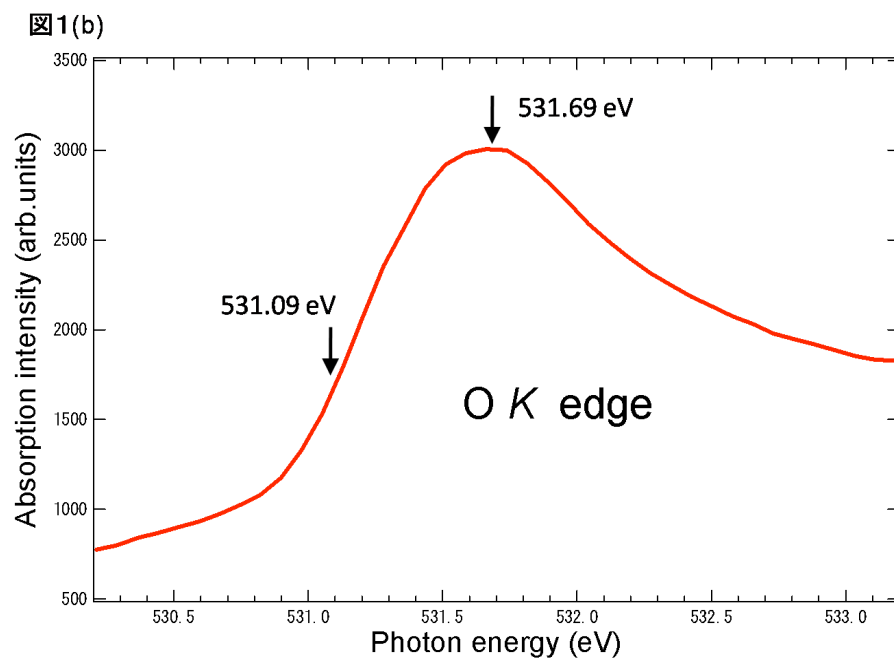


図1(b) O K 吸収端における吸収スペクトル。

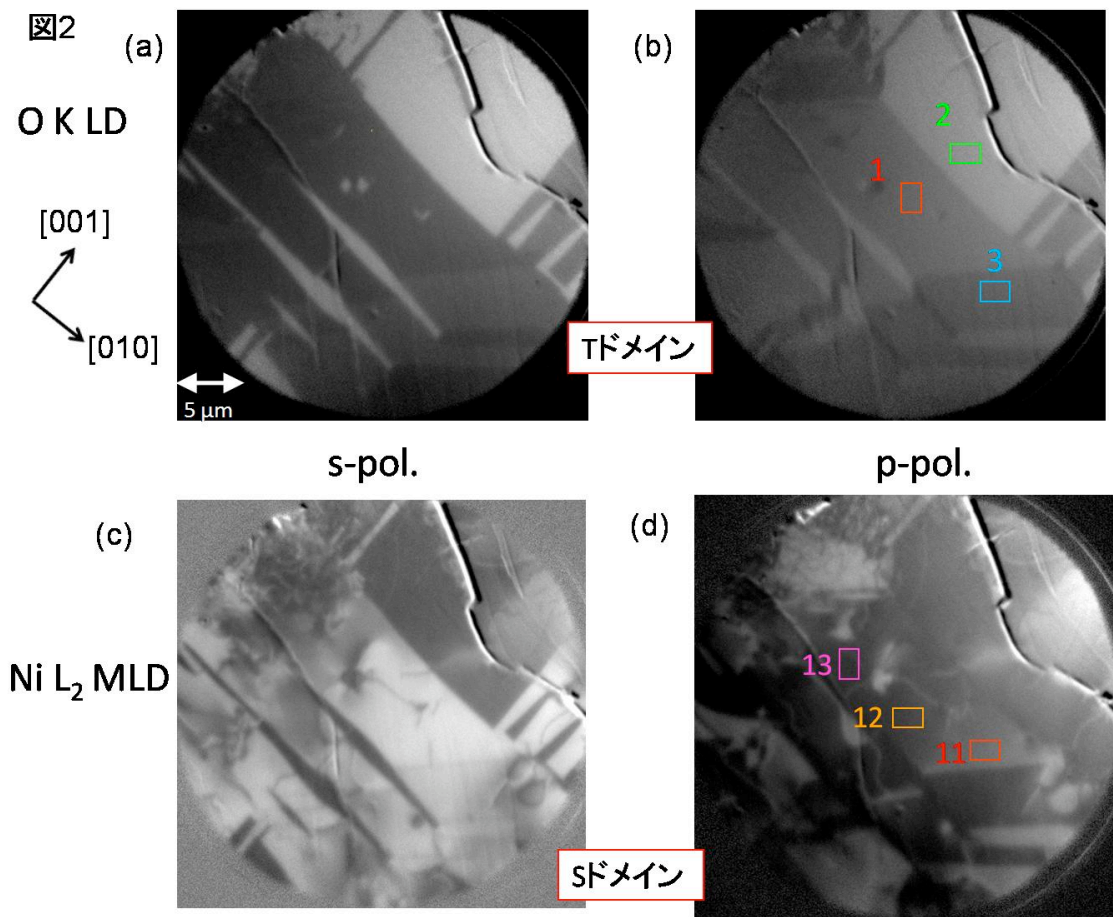


図2 水平偏光 (a&c)と垂直偏光(b&d)によるOK吸収端のLD(a&b)とNi L<sub>2</sub>吸収端のMLD(c&d)を反映したイメージ。(a)と(b)はTドメイン構造、(c)&(d)は、Sドメイン構造を示している。

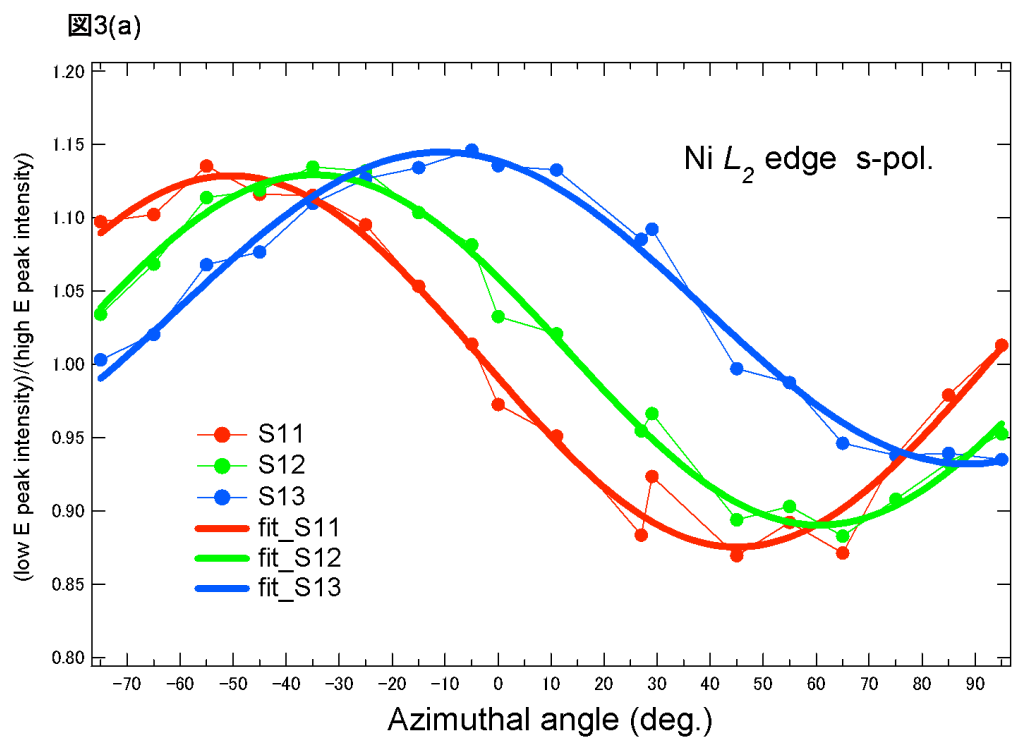


図 3(a) 水平偏光を用いた際の Ni  $L_2$  吸収端における 3 種類の S ドメイン (図 2(d)) 内の、2 つの吸収ピーク比の結晶方位依存性。点線が測定点、直線が  $\sin$  関数で fitting したもの。

図3(b)

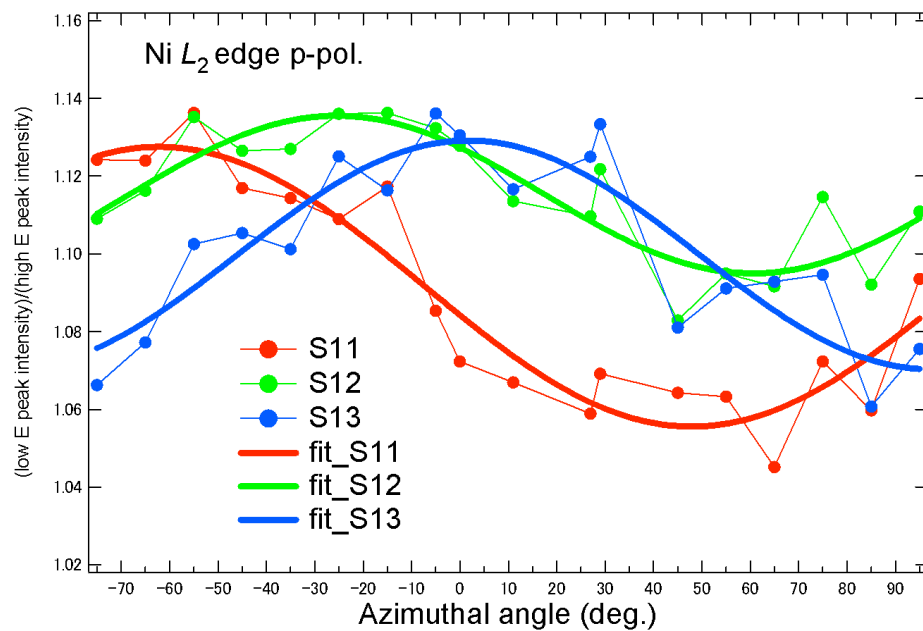


図 3(b) 垂直偏光を用いた際の、Ni  $L_2$  吸収端における 3 種類の S ドメイン(図 2(d)) 内の、2 つの吸収ピーク比の結晶方位依存性。点線が測定点、直線が sin 関数で fitting したもの。

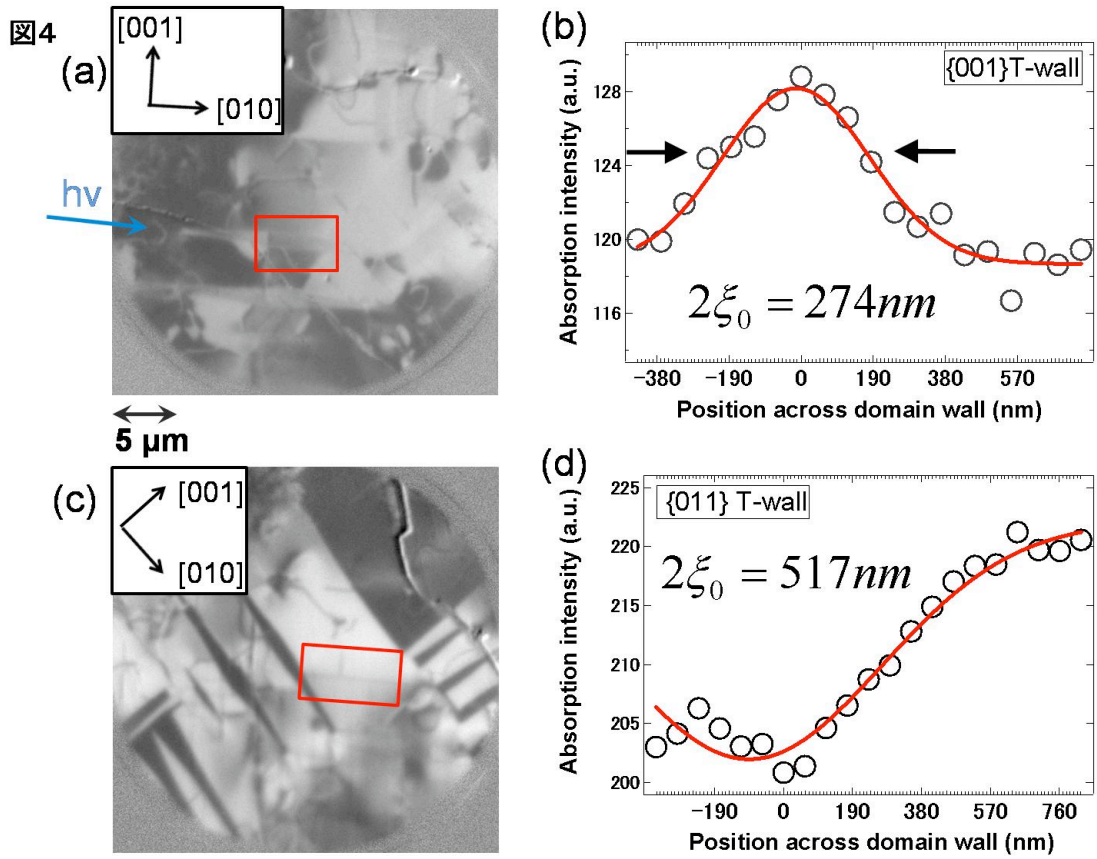


図4 水平偏光を用いた場合の Ni L<sub>2</sub> 吸収端における MLD イメージ(a&c)。イメージ内の赤線で囲まれた領域の{001}&{011}T-wall 内の MLD 強度プロファイルを(b)&(d)に示している。ガウス関数で fitting した結果、{001}&{011}T-wall 幅は、274 nm, 517 nm である。