

Title	NiO 型結晶の反強磁性磁壁のスピンの構造
Author(s)	山田, 竹実
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/28983">http://hdl.handle.net/11094/28983</a>
DOI	
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名・(本籍)	山	田	竹	実
	やま	だ	たけ	み
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	第	8	2	0
学位授与の日付	昭	和	40	年
学位授与の要件	学	位	規	則
学位論文題目	NiO 型結晶の反強磁性磁壁のスピ構造			
論文審査委員	(主査)	教授 金森順次郎		
	(副査)	教授 永宮 健夫	教授 渡辺得之助	教授 国富 信彦
		教授 川村 肇		

### 論 文 内 容 の 要 旨

NiO, および MnO は NaCl 型のイオン結晶で, ネール温度以下で, 菱面对称の反強磁性スピン秩序とそれに伴う格子の変形が起こる。正イオンの電子軌道状態が結晶場内で一重項であるため, 磁気双極子相互作用による磁気異方性が最も強く, これによって菱面体軸に垂直な  $\{111\}$  の面が磁化容易面となる。NiO の磁化容易軸は容易面内の  $\langle 112 \rangle$  の方向である。<sup>2)</sup> MnO の容易軸は知られていないが容易面内の  $\langle 110 \rangle$  か  $\langle 112 \rangle$  かのいずれかであることは判っている。<sup>2)</sup> このような磁気構造をもつ結晶を NiO 型結晶と呼ぶことにする。 $\alpha$  MnS および MnSe もこれに属すると考えられている。

この型の結晶では, スピン秩序の菱面体軸は NaCl 型格子の 4 つの  $\langle 111 \rangle$  の中のいずれかである。従って 1 つの結晶内にこの軸のとり方による 4 種の磁区が可能である。またこの磁区のなかで磁化の向きは容易面内の 3 方向のいずれかである。すなわち, 1 つの菱面体秩序磁区は磁化の向きに依る 3 種の支磁区に分けられる。これらの磁区は互に反強磁性磁壁でへだてられており, 磁壁内ではスピン軸の向きおよび格子歪が位置の函数として変化していると考えられる。菱面体秩序磁区間の磁壁を T 磁壁, 支磁区間の磁壁を S 磁壁と呼ぶ。面心立方格子を 4 つの単純立方部分格子に分け, 各部分格子のスピン軸の向きを単位ベクトル  $\sigma_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) で表わすと, T 磁壁の両側の磁区内で,  $\sigma_i$  相互の平行性が異なっていることが判る。すなわち一方の磁区で 4 つの  $\sigma_i$  が互に平行であれば, 他方の磁区では 2 つの  $\sigma_i$  が他の 2 つに対し反平行になっている。従って T 壁内では  $\sigma_i$  相互のなす角が位置の函数として変化しなければならず, また, これに伴う格子歪の変化も期待される。これは他の型の結晶に見られない著しい特徴である。本論文の主目的はこの T 磁壁内におけるスピン軸の変化の模様を理論的計算によって知ることである。S 磁壁内では  $\sigma_i$  は互に平行性を保ちながら変化し, その模様はすでに知られている強磁性磁壁のそれと同様に取扱うことができる。その解は Appendix に与え

る。

問題は、磁壁内における、最近接イオン間および第2近接イオン間の交換エネルギー、それらの歪依存性、磁気双極子エネルギーを主とする異方性エネルギー、および弾性エネルギーの和を極小にするような  $\sigma_i$  および格子歪を位置の函数として求める変分問題になる。境界条件として両端の磁区内の  $\sigma_i$  および歪成分を与える。

エネルギーを格子歪に関して極小化すると格子歪は  $\sigma_i$  の函数として定まる。磁壁内での弾性歪の適合条件<sup>1)</sup> から磁壁面は{001}または{110}であること、また、これらの磁壁内では  $\sigma_i$  は2つつづつ組になって変化することが判る。<sup>1)</sup>

$\sigma_i$  を位置の函数として定める方程式は、 $\sigma_i$  の境界値、すなわち両磁区内での  $\sigma_i$  が互に直交しているとき厳密に解ける。それ以外の境界条件では、試行函数系によるエネルギーの値を比較することによって近似解を得る。解はすべて次の形に書ける：磁壁の法線方向にとった位置座標を  $\xi$  とすると、

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (1 + \tanh q\xi)^{1/2} a(\xi) + (1 - \tanh q\xi)^{1/2} b(\xi) \right]$$
$$\sigma_3 = \sigma_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (1 + \tanh q\xi)^{1/2} a(\xi) - (1 - \tanh q\xi)^{1/2} b(\xi) \right]$$

$a(\xi)$ ,  $b(\xi)$  は互に直交する単位ベクトルで、 $90^\circ$ 磁壁 ( $\sigma_i$  の境界値が直交する磁壁) の場合を除き  $\xi$  の函数として変化する。変化の様子は近似函数を用いて表わし得る。 $q$  は定数、あるいは殆んど定数である。

{001} 磁壁の厚さは NiO で約  $80\text{\AA}$ , MnO で約  $9\text{\AA}$ , {110} 磁壁はこの  $\sqrt{1+(J'/J)}$  倍だけ厚くなる。但  $J'$  と  $J$  はそれぞれ第1および第2近接イオン間交換相互作用の係数である。{001}磁壁の単位面積に貯えられるエネルギーは NiO で約  $4\text{erg/cm}^2$ , MnO で約  $20\text{erg/cm}^2$  である。{110} 磁壁のエネルギーはこの  $\sqrt{1+(J'/J)}$  倍になる。

このようなスピン構造は理想結晶では準安定、すなわち一様なスピン秩序に比し高いエネルギーをもちながら安定している。しかし2枚の平行な磁壁が互に近くあれば1種の対消滅現象が起こり貯えられていたエネルギーは結晶内に放散される。

- 1) 参考論文 1 “NiO の反強磁性磁壁”
- 2) 参考論文 2 “NiO の磁気異方性、磁区および磁壁 I, II”

## 論文の審査結果の要旨

本論文は反強磁性体における磁壁の理論的研究である。

反強磁性体の磁区構造および磁壁の存在は多くの人々によって予想され、特に NiO については若干の実験もあったが、理論的研究は山田君の参考論文 (1)が最初である。本論文は参考論文(1)の発表後に山田君も参加して行なわれた実験およびその理論的解釈 (参考論文 (2)) にもとづいて、参考論

文 (1)を若干修正しました, その議論をより一般化したものである。その理論は, 反強磁性体の代表的なものの一つである NiO を主な対象とし, 1) 磁壁の方向 2) 磁壁内のスピンの方向の変化 3) 磁壁の巾とエネルギー等について具体的な結論がえられている。

NiO の結晶は NaCl 型であって磁性イオンは面心立方格子を作る。Neel 温度以下では結晶は  $\langle 111 \rangle$  方向で $10^{-3}$ 程度縮み3回対称性となる。交換相互作用がこのような歪みの1次に比例して変化することが結晶変形の原因である。このことと磁気双極子相互作用とを考えると, 最低エネルギーの状態ではスピンの(111)面内のある方向に平行または反平行であることが結論され実験的にもたしかめられている。歪みがおこる3回軸方向が一つの結晶について四つあるために, 歪みの方向がことなる二つの磁区間の磁壁が考えられる(T wall)。また, 歪みの方向が同一でも(111)面内でのスピンの方向が異なる二つの磁区間の磁壁(S wall)も考えられる。本論文はこれら T wall S wall のあらゆる可能な場合についてエネルギーのもっとも低いスピン構造を決定した。方法は, 交換相互作用, 磁気双極子相互作用, 弾性エネルギーおよび歪みの1次に比例する交換相互作用の項を一つの積分であらわし, それを極小にするスピンの空間変化を求める変分問題を考える。この際解析力学のハミルトンの原理からヤコビの最小作用の原理にいたる変換に対応した変換を用いると計算が容易になることが示された。磁壁の方向は, 歪みの compatibility relation によって決定される。

得られた結論の内 T wall および S wall の方向については, 理論発表以前の実験およびそれ以後の実験(参考論文(2))の結果と一致している。その他については今後の実験が期待される。山田君の本論文および参考論文(1), (2)は, NiO の磁壁の諸性質を理論的実験的にくわしく解明したものである。なお, 参考論文(2)ではさらに NiO でのスピンの方向, 異方性エネルギー, 磁歪を実験的に決定しその理論を与えている。これらのうち特に磁壁の研究は反強磁性体研究の新しい分野を開拓したもので高く評価される。この研究に用いられた方法は, 他の反強磁性体の研究にも大いに参考となるもので一般理論としても評価されるべきものである。以上の観点から山田君の論文は理学博士の学位論文として十分なものと認める。