(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B1)　(11)特許番号
特許第5242867号
(P5242867)
(45)発行日　平成25年7月24日(2013.7.24)　(24)登録日　平成25年4月12日(2013.4.12)

(51)Int.Cl.		F I		
H01F 10/10	(2006.01)	H01F	10/10	
H01L 29/82	(2006.01)	H01L	29/82	Z

請求項の数 11　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願2013-508712 (P2013-508712)
(86)(22)出願日　平成24年10月3日 (2012.10.3)
(86)国際出願番号　PCT/JP2012/075662
審査請求日　平成25年2月28日 (2013.2.28)
(31)優先権主張番号　特願2011-222161 (P2011-222161)
(32)優先日　平成23年10月6日 (2011.10.6)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

早期審査対象出願

(73)特許権者　503360115
独立行政法人科学技術振興機構
埼玉県川口市本町四丁目１番８号
(74)代理人　100087480
弁理士　片山　修平
(72)発明者　塚崎　敦
東京都北区中里１－１５－２　大河原ビル１００１

審査官　塩▲崎▼　義晃

最終頁に続く

(54)【発明の名称】結晶および積層体

(57)【特許請求の範囲】

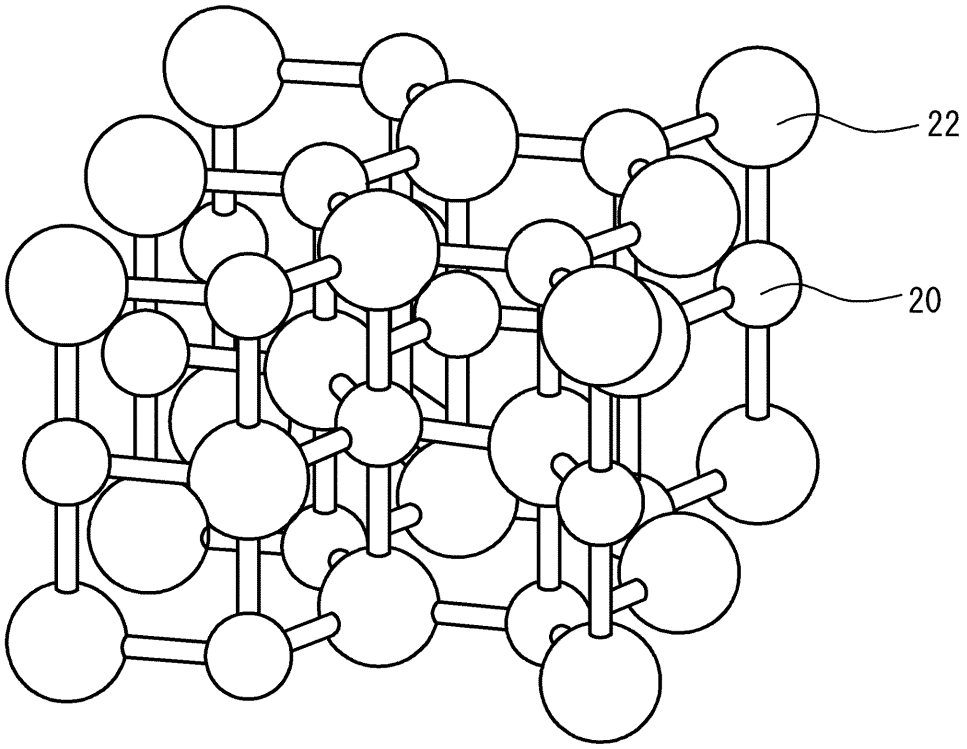
【請求項１】

ウルツ鉱構造を有する結晶である下地膜と、

Ｍを、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物、または、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物と、Ｚｎと、の混合物とし、かつＸの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、前記下地膜上に形成されたヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$膜と、

を具備し、

前記ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはＭを２０、Ｏを２２と示したとき、以下の結晶構造である



ことを特徴とする積層体。

【請求項２】

前記下地膜の格子定数ａおよびｂは、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜がウルツ鉱構造である場合の格子定数ａおよびｂよりそれぞれ大きいことを特徴とする請求項１記載の積層体。

【請求項３】

前記下地膜は、ウルツ鉱構造を有する酸化亜鉛であることを特徴とする請求項１または２記載の積層体。

【請求項４】

前記ＭはＣｏであり、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜の膜厚は６０ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１から３のいずれか一項記載の積層体。

【請求項５】

前記ＭはＣｏであり、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜のＸの範囲は、０．１以上かつ０．５以下であることを特徴とする請求項１から４のいずれか一項記載の積層体。

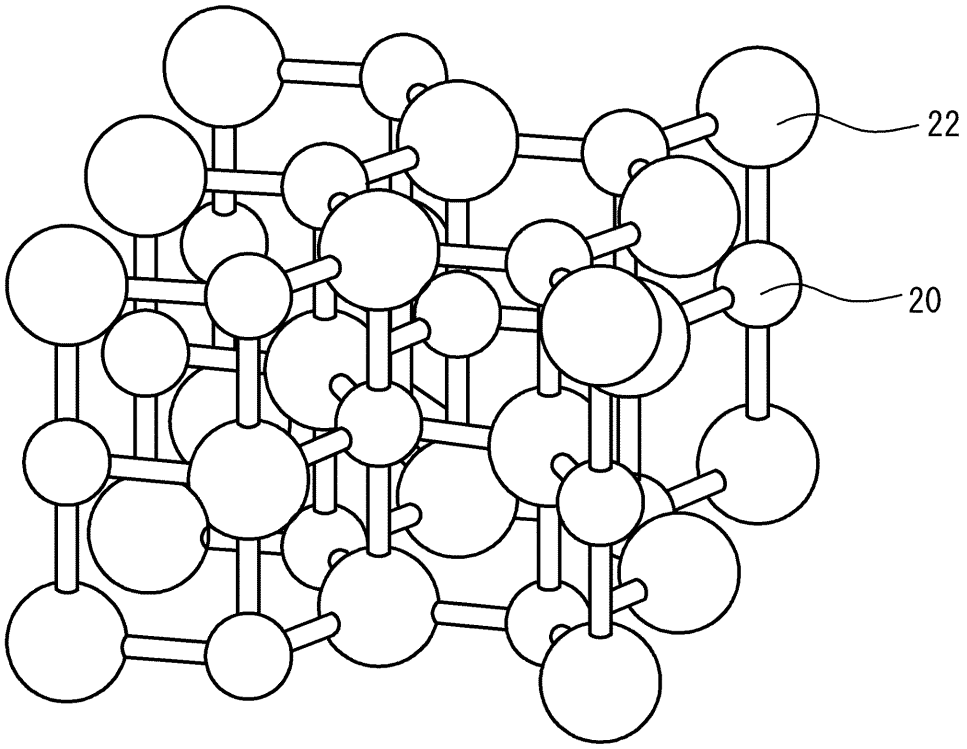
【請求項６】

ウルツ鉱構造を有する結晶である下地膜と、

Ｍを３ｄ遷移金属元素、かつＸの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、前記下地膜上に形成されたヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$膜と、

を具備し、

前記ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはＭを２０、Ｏを２２と示したとき、以下の結晶構造であり、



前記$Mg_xM_{1-x}O$膜がその膜上にキャップ膜を有するものであり、前記キャップ膜を形成する結晶の格子定数ａおよびｂが前記$Mg_xM_{1-x}O$膜がウルツ鉱構造である場合の格子定数ａおよびｂよりそれぞれ大きいことを特徴とする積層体。

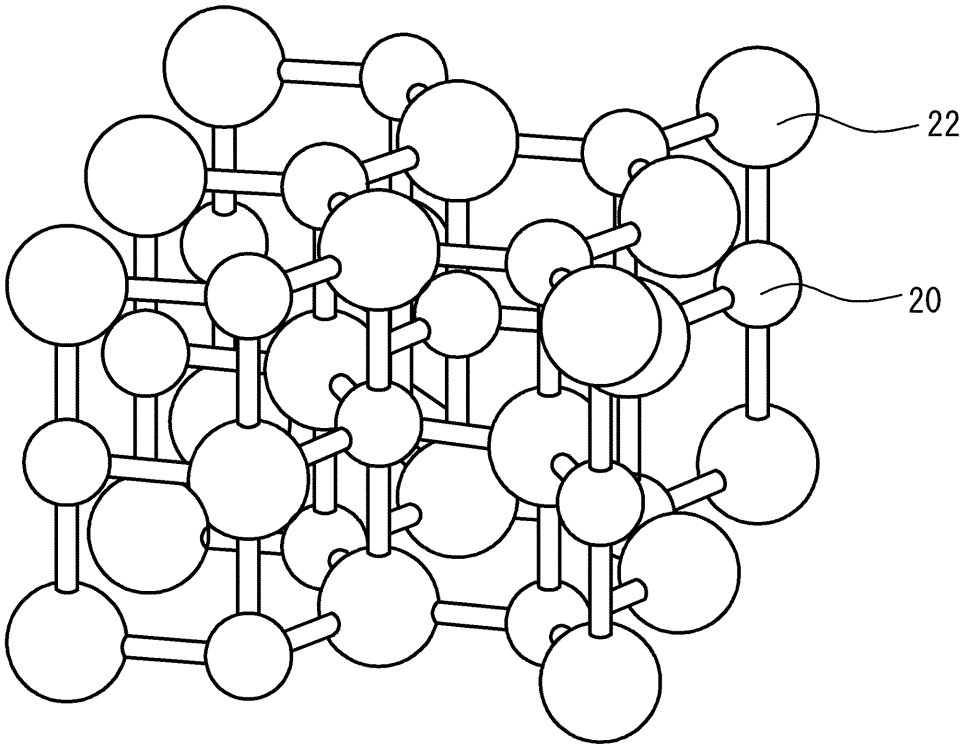
【請求項７】

ウルツ鉱構造を有する結晶である下地膜と、

Ｘの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、前記下地膜上に形成されたヘキサゴナル構造を有する$Mg_xCo_{1-x}O$膜と、

を具備し、

前記ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはＭを２０、Ｏを２２と示したとき、以下の結晶構造である



ことを特徴とする積層体。

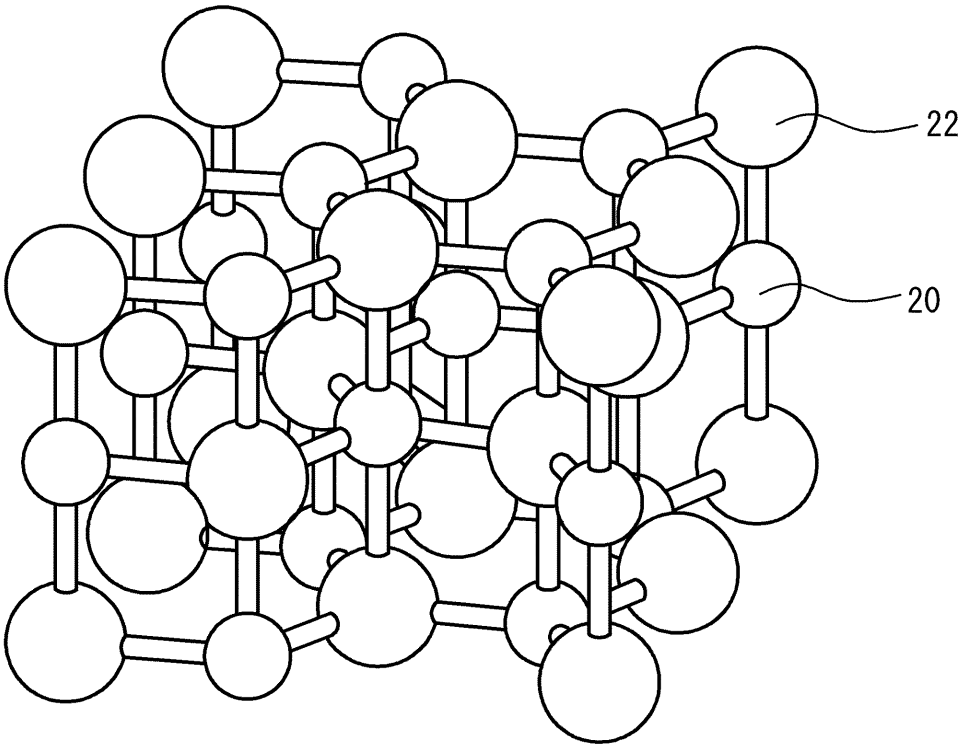
【請求項８】

前記$Mg_xM_{1-x}O$膜は、ＭがＣｏおよびＺｎであり、Ｙの範囲を０＜Ｙ＜１としたとき、$Mg_xCo_YZn_{1-X-Y}O$膜であることを特徴とする請求項１から３のいずれか一項記載の積層体。

【請求項９】

Ｍを、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物、または、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物と、Ｚｎと、の混合物とし、かつＸの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、ヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$であり、

前記ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはＭを２０、Ｏを２２と示したとき、以下の結晶構造である

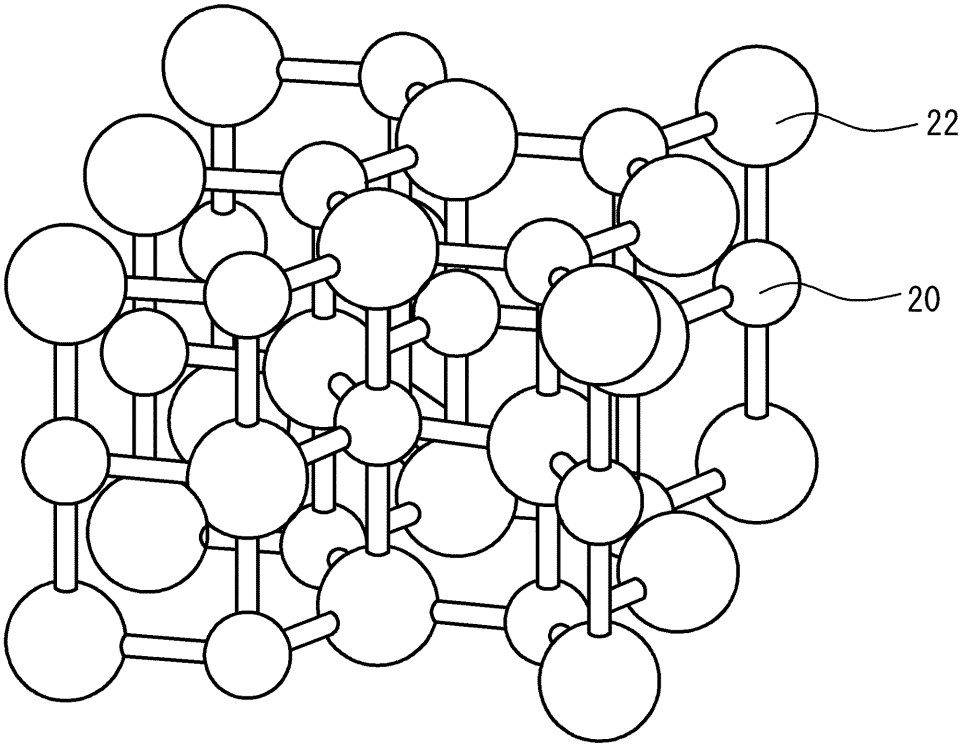


ことを特徴とする結晶。

【請求項１０】

Ｘの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、ヘキサゴナル構造を有する$Mg_xCo_{1-x}O$であり、

前記ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはMを２０、Ｏを２２と示したとき、以下の結晶構造である



ことを特徴とする結晶。

【請求項１１】

前記$Mg_xM_{1-x}O$は、MがＣｏおよびＺｎであり、Ｙの範囲を０＜Ｙ＜１としたとき、$Mg_xCo_YZn_{1-x-Y}O$であることを特徴とする請求項９記載の結晶。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、結晶および積層体に関し、例えば、Ｍを３ｄ遷移金属元素としたとき、ＭｇＭＯである結晶およびその結晶を膜として含む積層体に関する。

【背景技術】

【０００２】

近年、電荷を有するスピンを用いた情報処理やスピンと電荷とを独立に制御するための技術開発が盛んに行われている。例えば、ＭＲＡＭ（Magnetic Random Access Memory）やスピントランジスタのように、スピン偏極した伝導電子を用いるデバイス等が提案されている。

【０００３】

非特許文献１には、ＭｇＯ（酸化マグネシウム）の結晶構造として、ウルツ鉱構造と岩塩構造以外に、ｈ－ＭｇＯ（以下ヘキサゴナル構造ともいうこととする）をとり得ることが予想されている。非特許文献２および３には、強磁性体における異常ホール効果について記載されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００４】

【非特許文献１】Physical Review B Vol. 63, 104103 (2001)

【非特許文献２】Physical Review Letters Vol. 97, 126602 (2006)

【非特許文献３】JJAP Express Letter Vol. 46, L642-L644 (2007)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

スピン偏極伝導電子を用いるデバイスにおいては、スピン偏極伝導電子を高効率に生成することが求められる。ホール移動度の大きな試料は一般的に大きな伝導度を有している。この場合、大きな伝導度は大きな電子濃度に起因しており、移動度は小さい場合がほとんどである。電子濃度が高い試料としては、例えばＦｅやＣｏ等の強磁性金属である。強磁性金属では、伝導電子のスピン分極率は６０％以下である。伝導電子は、局在スピンとの相互作用に依存してスピン分極率が変わる。例えば、伝導電子が、低い電子濃度で高い電子移動度を有することができれば、スキュー散乱によってスピン分極率が決定される。このため、高いスピン分極率が実現できる可能性がある。

【０００６】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、スピン偏極伝導電子を高効率に生成する積層体、およびこの積層体を作ることができる結晶を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明は、ウルツ鉱構造を有する結晶である下地膜と、Ｍを、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物、または、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物と、Ｚｎと、の混合物とし、かつＸの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、前記下地膜上に形成されたヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$膜と、を具備し、前記ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはＭを２０、Ｏを２２と示したとき、図８の結晶構造であることを特徴とする積層体である。本発明によれば、スピン偏極伝導電子を高効率に生成することができる。

【０００８】

上記構成において、前記下地膜の格子定数ａおよびｂは、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜がウルツ鉱構造である場合の格子定数ａおよびｂよりそれぞれ大きい構成とすることができる

。

【０００９】

上記構成において、前記下地膜は、ウルツ鉱構造を有する酸化亜鉛である構成とすることができる。この構成によれば、ヘキサゴナル構造の$Mg_xM_{1-x}O$膜を形成することができる。

【００１０】

上記構成において、前記ＭはＣｏであり、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜の膜厚は６０ｎｍ以下である構成とすることができる。

【００１１】

上記構成において、前記ＭはＣｏであり、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜のＸの範囲は、０．１以上かつ０．５以下である構成とすることができる。

【００１２】

上記構成において、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜がその膜上にキャップ膜を有するものであり、前記キャップ膜を形成する結晶の格子定数ａおよびｂが前記$Mg_xM_{1-x}O$膜がウルツ鉱構造である場合の格子定数ａおよびｂよりそれぞれ大きい構成とすることができる。

【００１３】

上記構成において、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜は$Mg_xCo_{1-x}O$膜である構成とすることができる。また、上記構成において、前記$Mg_xM_{1-x}O$膜は、ＭがＣｏおよびＺｎであり、Ｙの範囲を０＜Ｙ＜１としたとき、$Mg_xCo_YZn_{1-x-Y}O$膜である構成とすることができる。

【００１４】

本発明は、Ｍを、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物、または、Ｍｎ、Ｎｉ、Ｃｏ、Ｓｃ、Ｔｉ、Ｖ、Ｃｒ、ＦｅもしくはＣｕまたはこれらの混合物と、Ｚｎと、の混合物とし、かつＸの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、ヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$であり、前記ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはＭを２０、Ｏを２２と示したとき、図８の結晶構造であることを特徴とする結晶である。本発明によれば、スピン偏極伝導電子を高効率に生成することができる積層体を実現するための結晶を提供できる。

【００１５】

上記構成において、前記$Mg_xM_{1-x}O$は$Mg_xCo_{1-x}O$である構成とすることができる。また、上記構成において、前記$Mg_xM_{1-x}O$は、ＭがＣｏおよびＺｎであり、Ｙの範囲を０＜Ｙ＜１としたとき、$Mg_xCo_YZn_{1-x-Y}O$である構成とすることができる。

【発明の効果】

【００１６】

本発明によれば、スピン偏極伝導電子を高効率に生成する積層体、およびこの積層体を作ることができる結晶を提供することができる。このものは、スピンエレクトロニクスの進展により、電子デバイス、トランジスタ等として有用である。

【図面の簡単な説明】

【００１７】

【図１】図１（ａ）から図１（ｃ）は、非特許文献１の図１に図示されているＭｇＯの結晶構造を示す図である。

【図２】図２は、実施例１に係る結晶の断面図である。

【図３】図３（ａ）から図３（ｃ）は、膜厚が６０ｎｍ以下のＭｇＣｏＯ膜を堆積した際のＲＨＥＥＤ像を示す図である。

【図４】図４（ａ）から図４（ｃ）は、膜厚が６０ｎｍより大きいＭｇＣｏＯ膜を堆積した際のＲＨＥＥＤ像を示す図である。

【図５】図５（ａ）および図５（ｂ）は、ＸＲＤの測定結果である。

【図６】図６は、非特許文献２の図４に実施例２の結果を重ねて示した図である。

【図７】図７は、非特許文献３の図１に実施例２の結果を重ねて示した図である。
【図８】図８は、ヘキサゴナル構造の結晶構造を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１８】
図１（ａ）から図１（ｃ）は、非特許文献１の図１に図示されているＭｇＯの結晶構造を示す図である。ＭｇＯの結晶構造として、ウルツ鉱構造（ＷＺ）および岩塩構造（ＲＳ）以外にｈ－ＭｇＯ構造が安定であることが理論的に予想されている。図１（ａ）のように、ウルツ鉱構造においては、Ｍｇ（マグネシウム）に４つのＯ（酸素）が結合している。図１（ｃ）のように、岩塩構造においては、Ｍｇに６つのＯが結合している。図１（ｂ）のように、ヘキサゴナル構造においては、ウルツ鉱構造のＭｇが上下のＯにも結合している。こののため、Ｍｇは５つのＯと結合している。また、ヘキサゴナル構造のＺ方向の格子定数ｃは岩塩構造とほぼ同じである。一方、ヘキサゴナル構造の格子定数ａおよびｂはウルツ鉱構造とほぼ同じである。
【００１９】
発明者は、ＭｇＯとＣｏＯ（酸化コバルト）との混晶である$Mg_xCo_{1-x}O$（以下、ＭｇＣｏＯとも記載する）結晶を用いた積層体において、スピン偏極電子を高効率に生成できることを確認した。$Mg_xCo_{1-x}O$結晶は、室温及び大気圧では、岩塩構造が最安定相である。ウルツ鉱構造の結晶上に$Mg_xCo_{1-x}O$（０＜Ｘ＜１）結晶を形成すると、$Mg_xCo_{1-x}O$結晶が格子緩和するまでの膜厚において不安定相が形成できる。この不安定相がヘキサゴナル構造であることが確認できた。
【実施例１】
【００２０】
図２は、実施例１に係る積層体の断面図である。ＺｎＯ（酸化亜鉛）基板１０上に下地層としてＺｎＯ膜１２、ＺｎＯ膜１２上に$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４、$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４上にキャップ層としてＹ＝０．０５の$Mg_YZn_{1-Y}O$（以下、ＭｇＺｎＯとも記載する）膜１６（０＜Ｙ＜１）をＭＢＥ（Molecular Beam Epitaxy）法を用い堆積させた。各膜は単結晶に堆積されている。堆積条件は以下である。
ＭＢＥに供給した元素：Ｍｇ（マグネシウム）、Ｃｏ（コバルト）、Ｚｎ（亜鉛）、O_2（酸素）ラジカル
堆積温度：７５０℃（サーモビューワで計測）
Ｚｎ原料：Ｚｎ金属　クヌードセンセルにて供給
Ｚｎ供給蒸気圧：4×10^{-4}Ｐａ
Ｍｇ原料：Ｍｇ金属　クヌードセンセルにて供給
Ｍｇ供給蒸気圧：1×10^{-5}Ｐａ
Ｃｏ原料：Ｃｏ金属　クヌードセンセルにて供給
Ｃｏ供給蒸気圧：1×10^{-5}Ｐａ
O_2ラジカル生成法：２００Ｗプラズマソース
O_2ラジカル流量：２ｓｃｃｍ
【００２１】
Ｘが０．５の$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４を成膜する際にＲＨＥＥＤ（Reflection High Energy Electron Diffraction）観察を行った。図３（ａ）から図３（ｃ）は、膜厚が６０ｎｍ以下のＭｇＣｏＯ膜１４を堆積した際のＲＨＥＥＤ像を示す図である。図３（ａ）は、ＺｎＯ膜１２を堆積中のＲＨＥＥＤ像、図３（ｂ）は、ＺｎＯ膜１２、ＭｇＣｏＯ膜１４およびＭｇＺｎＯ膜１６を堆積中のＲＨＥＥＤ像、図３（ｃ）は、ＭｇＺｎＯ膜を堆積後のＲＨＥＥＤ像を示している。ＺｎＯ膜１２の膜厚は１００ｎｍ、ＭｇＣｏＯ膜１６の膜厚は３０ｎｍ、ＭｇＺｎＯ膜１６の膜厚は１００ｎｍである。
【００２２】
図４（ａ）から図４（ｃ）は、膜厚が６０ｎｍより大きいＭｇＣｏＯ膜を堆積した際のＲＨＥＥＤ像を示す図である。ＺｎＯ膜１２の膜厚は１００ｎｍ、ＭｇＣｏＯ膜１４の膜厚は６０ｎｍより大きい、ＭｇＺｎＯ膜１６の膜厚は１００ｎｍである。図４（ａ）から

図４（ｃ）は、図３（ａ）から図３（ｃ）と同様の図である。図３（ａ）および図４（ａ）より、ＺｎＯ膜１２を堆積中のＲＨＥＥＤパターンは安定している。中心のスポットと両側のスポットとの間隔Ｄが格子定数ａに対応しており、間隔Ｄが小さいと格子定数ａが大きいことに対応している。なお、ウルツ鉱構造およびヘキサゴナル構造のような六方晶構造においては、格子定数ａと格子定数ｂとは比例しており、格子定数ａの変化に対応し格子定数ｂも変化していると考えられる。

【００２３】

図３（ｂ）および図４（ｂ）は、縦方向が堆積時間であり。それぞれ図３（ａ）および図４（ａ）の白破線の信号を堆積時間に対し示している。中心のスポットと両側のスポットとの間隔Ｄが格子定数ａに対応している。図３（ｂ）においては、ＺｎＯ膜１２の堆積、ＭｇＣｏＯ膜１４の堆積およびＭｇＺｎＯ膜１６の堆積の間、間隔Ｄはほとんど変化していない。これは、ＺｎＯ膜１２からＭｇＺｎＯ膜１６まで格子定数ａがほとんど変化していないことを示している。

【００２４】

一方、図４（ｂ）においては、ＭｇＣｏＯ膜１４の堆積途中（ＭｇＣｏＯ膜１４の成長を開始してから６０ｎｍの膜厚を堆積した時点）において間隔Ｄが大きくなっている。これは、格子緩和し、格子定数ａが小さくなったことを示している。つまり、膜厚が６０ｎｍより大きいＭｇＣｏＯ膜１４においては、岩塩構造となっている。

【００２５】

図３（ｃ）のように、ＭｇＺｎＯ膜１６を堆積した後のＲＨＥＥＤ像より、表面は極めて平坦である。一方、図４（ｃ）のように、ＭｇＣｏＯ膜１４の膜厚が６０ｎｍを越えると、スポット回折点が複数観測され、表面が荒れていることがわかる。これは、ＭｇＣｏＯ膜１４が格子緩和したため、堆積面が荒れたためと考えられる。

【００２６】

以上のように、図３（ａ）から図４（ｃ）のＲＨＥＥＤの結果から、ＭｇＣｏＯ膜１４の膜厚が６０ｎｍ以下では、格子定数ａがウルツ鉱構造とほぼ同じであることがわかる。ＭｇＣｏＯ膜１４の膜厚が６０ｎｍを越えると、岩塩構造の格子定数ａとなる。

【００２７】

次に、Ｘが０．５の$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４のＸＲＤ（X‐ray diffraction）測定を行なった。図５（ａ）および図５（ｂ）は、ＸＲＤの測定結果である。図５（ａ）は、格子緩和したＭｇＣｏＯ膜１４（すなわちＭｇＣｏＯ膜１４を６０ｎｍより厚く堆積した膜）のＸＲＤの測定結果を示している。図５（ｂ）は、格子緩和していないＭｇＣｏＯ膜１４（すなわち膜厚が６０ｎｍ以下のＭｇＣｏＯ膜１４）のＸＲＤの測定結果を示している。図５（ａ）および図５（ｂ）より、ウルツ鉱構造のＺｎＯの格子定数ｃは、いずれも０．２６０３ｎｍである。図５（ａ）のＭｇＣｏＯ膜１４の格子定数ｃは０．２４４ｎｍ、図５（ｂ）のＭｇＣｏＯ膜１４の格子定数ｃは０．２４７ｎｍであった。

【００２８】

以上のように、岩塩構造に格子緩和した格子定数ｃと膜厚が６０ｎｍ以下で格子緩和していない格子定数ｃはほぼ同じであった。

【００２９】

これらの結果から、膜厚が６０ｎｍ以下のＭｇＣｏＯ膜１４は、格子定数ａがウルツ鉱構造と同じであり、格子定数ｃが岩塩構造と同じである。以上のことから、膜厚が６０ｎｍ以下のＭｇＣｏＯ膜１４は、ヘキサゴナル構造であると考えられる。すなわち、ＭｇＣｏＯ膜１４は、ＭｇまたはＣｏ原子が図１（ｂ）のＭｇのサイトに入り、Ｏが図１（ｂ）のＯのサイトに入った構造であると考えられる。一方、膜厚が６０ｎｍより大きいＭｇＣｏＯ膜１４は格子緩和し、安定相の岩塩構造となる。

【００３０】

このように、Ｘ＝０．５の$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４が最安定相の岩塩構造の場合、ＺｎＯ膜１２と約７％の格子不整合が生じている。このため、$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４の表面に大きな表面エネルギーが発生する。これにより、$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４の膜厚

が臨界膜厚（実施例１では６０ｎｍ）を越えると、$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４は格子歪が緩和され岩塩構造となる。一方、臨界膜厚以下では、$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４はヘキサゴナル構造となる。

【実施例２】

【００３１】

次に、実施例２として、積層体のサンプル１として、膜厚が３０ｎｍでＸが０．５の$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４のサンプル、積層体のサンプル２として、膜厚が１０ｎｍでＸが０．１の$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４のサンプルを作製した。ＺｎＯ膜１２およびＭｇＺｎＯ膜１６は、実施例１と同じである。サンプル１および２をホールバー形状に加工した。

【００３２】

ホールバー形状のサンプルを用い、電気抵抗の温度依存性、磁場中の磁気抵抗、ホール効果を測定した。電気抵抗の温度依存性は金属的であった。約６０％と大きな正の磁気抵抗効果が得られた。温度が４Ｋにおけるホール抵抗の磁場依存性に正常ホール効果と異常ホール効果が観測された。異常ホール効果は、スピン偏極に関連していることが知られている。異常ホール効果の縦磁気伝導度σ_{XX}とホール伝導度σ_{XY}の比率が大きいとスピン偏極電流を高効率に生成できる。

【００３３】

図６は、非特許文献２の図４に実施例２の結果を重ねて示した図である。異常ホール効果の測定結果から、実施例２に係る構造が２次元伝導していると仮定してσ_{XY}を計算した。図６において、白丸がサンプル１、黒丸がサンプル２を示している。サンプル１および２ともσ_{XY}/σ_{XX}が大きな値となっている。これにより、実施例２においては、ＭｇＣｏＯがスピン偏極伝導電子の生成効率が大きいことがわかる。

【００３４】

図７は、非特許文献３の図１に実施例２の結果を重ねて示した図である。実施例２に係る構造が約３０ｎｍの幅を有する３次元伝導していると仮定してσ_{AH}を計算した。なお、ＭｇＣｏＯ膜１４は絶縁体であるが、ＺｎＯ膜１２、ＭｇＣｏＯ膜１４およびＭｇＺｎＯ膜１６の自発分極の差に起因し、ＺｎＯ膜１２のＭｇＣｏＯ膜１４側の界面およびＭｇＺｎＯ膜１６のＭｇＣｏＯ膜１４側の界面に２次元電子が生成される。そこで、ＺｎＯ膜１２とＭｇＣｏＯ膜１４との界面およびＭｇＺｎＯ膜１６とＭｇＣｏＯ膜１４との界面も含め、約３０ｎｍ程度の幅の伝導層であると仮定した。図７のように、サンプル１および２ともにσ_{AH}/σ_{XX}が大きな値となっている。

【００３５】

以上のように、実施例２の伝導が２次元伝導または３次元伝導いずれを仮定しても、異常ホール効果のσ_{XY}/σ_{XX}およびσ_{AH}/σ_{XX}は大きな値を示している。これにより、実施例２に係る結晶構造はスピン偏極伝導電子の生成効率が高いと考えられる。なお、ＭｇＣｏＯ膜１４の一部が格子緩和していても高いスピン偏極伝導電子が得られる。このような効果は、２０Ｋ以下の温度で観測される。これは、磁気的性質の転移温度に依存していると考えられる。

【００３６】

実施例２のように、ヘキサゴナル構造を有する$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４とウルツ鉱構造を有するＺｎＯ膜１２との界面に高移動度でかつ高いスピン分極率を有する電子系が生成されていると考えられる。

【００３７】

また、$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４を、格子定数ａおよびｂがＭｇＣｏＯ膜１４がウルツ鉱構造である場合の格子定数ａおよびｂよりそれぞれ大きい下地膜（例えばＺｎＯ膜１２）上に形成する。このように、下地膜がＭｇＣｏＯ膜１４より格子定数が大きいため、図１（ａ）のようなウルツ鉱構造においてＭｇＣｏＯ膜１４がａ，ｂ方向に広がろうとする。よって、ＭｇまたはＣｏが結合していない上または下のＯと結合し、図１（ｂ）のようなヘキサゴナル構造となりやすい。

【００３８】

下地膜としては、実施例１および実施例２のように、ウルツ鉱構造の酸化亜鉛（ＺｎＯ）を用いることができる。酸化亜鉛の格子定数ａおよびｂは、ＭｇＣｏＯ膜１４がウルツ鉱構造である場合の格子定数ａおよびｂより約７％大きい。よって、ＺｎＯ膜１２上のＭｇＣｏＯ膜１４は、ヘキサゴナル構造となりやすい。ＭｇＣｏＯ膜１４より格子定数ａおよびｂの大きいウルツ鉱構造の下地膜として、例えば$ScAlMgO_4$等を用いることもできる。

【００３９】

また、図４（ｂ）のように、ＭｇＣｏＯ膜１４をヘキサゴナル構造とするためには、ＭｇＣｏＯ膜１４の膜厚は６０ｎｍ以下であることが好ましい。また、３０ｎｍ以下であることが好ましく、２０ｎｍ以下であることがさらに好ましい。また、ＭｇＣｏＯ膜１４として機能するため、ＭｇＣｏＯ膜１４の膜厚は１ｎｍ以上が好ましく、５ｎｍ以上がより好ましい。

【００４０】

さらに、キャップ膜として、ＭｇＣｏＯ膜１４上に、格子定数ａおよびｂがＭｇＣｏＯ膜１４がウルツ鉱構造である場合の格子定数ａおよびｂよりそれぞれ大きいＭｇＺｎＯ膜１６が形成されている。キャップ膜は、ＭｇＣｏＯ膜１４の安定化の機能を有する。ＭｇＺｎＯ膜１６の膜厚およびＭｇの濃度は、スピン偏極伝導電子の生成には大きくは影響しない。よって、キャップ膜としてＺｎＯ膜を用いてもよい。

【００４１】

図６および図７のように、$Mg_xCo_{1-x}O$膜１４のＸ値が、０．１以上かつ０．５以下の範囲において、異常ホール効果のσ_{XY}/σ_{XX}およびσ_{AH}/σ_{XX}が大きくなることがわかる。これにより、少なくともＸ値が、０．１以上かつ０．５以下の範囲においてスピン偏極伝導電子の生成効率が大きい。Ｘ値は、０．２以上かつ０．４以下がより好ましい。Ｍを３ｄ遷移金属元素としたときヘキサゴナル構造の$Mg_xM_{1-x}O$膜においても同様に、Ｘ値が０．１以上かつ０．５以下が好ましく、０．２以上かつ０．４以下がより好ましい。

【００４２】

実施例１および実施例２においては、ヘキサゴナル構造の膜としてＭｇＣｏＯ膜１４を例に説明したが、Ｍを３ｄ遷移金属元素としたとき、ヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$膜でもよい。ここで、３ｄ遷移金属元素Ｍは、Ｚｎ（亜鉛）、Ｍｎ（マンガン）、Ｎｉ（ニッケル）、Ｃｏ（コバルト）、Ｓｃ（スカンジウム）、Ｔｉ（チタン）、Ｖ（バナジウム）、Ｃｒ（クロム）、Ｆｅ（鉄）もしくはＣｕ（銅）等の第一遷移元素またはこれらの混合物でもよい。岩塩構造物質群をウルツ鉱構造として界面形成しヘキサゴナル構造を得るという実施例１および実施例２の考え方から、Ｍとして、Ｃｏ以外にも上記３ｄ遷移金属元素を用いることができる。岩塩構造物質群の中でも、２価の電子配置を取って磁性の起源になりうる遷移金属元素という観点からＭは、Ｃｏ、Ｆｅ、ＭｎもしくはＮｉまたははこれらの混合物が好ましい。さらに、Ｚｎ（亜鉛）が混合されてもよい。酸化亜鉛は六方晶系が安定構造のため、Ｚｎの混合は、ヘキサゴナル構造安定化に有効である。特に、下地膜として酸化亜鉛を用いた場合、ＺｎがＭｇＣｏＯ膜１４に拡散することにより、ヘキサゴナル構造の$Mg_xCo_YZn_{1-X-Y}O$膜（$0<X<1$、$0<Y<1$）としてもＭｇＣｏＯ膜と同様の特性を得ることができる。

【００４３】

さらに、ウルツ鉱構造などの自発分極を有する物質群では、異なる物質同士の界面に分極差の静電不安定性を解消するために、伝導電子系が生成される。ウルツ鉱構造とヘキサゴナル構造との界面においては、低い電子濃度で高い電子移動度を有する伝導電子が生成される。このため、スキュー散乱によってスピン分極率が決定される。すなわち、この伝導電子と３ｄ遷移金属の局在スピンを相互作用させることにより、実施例２のように、高いスピン分極率を有する伝導電子の生成が可能となるものと考えられる。この考えによれば、下地膜１２はウルツ鉱構造を有すればよく、下地膜１２上の膜は、Ｍを３ｄ遷移金属元素としたときヘキサゴナル構造の$Mg_xM_{1-x}O$膜であればよい。３ｄ遷移金属を適

宜選択することにより、スピン偏極する温度を変更することができる。例えば、磁気的性質の転移温度をより高温の物質を用いることにより、より高温において、スピン偏極を実現することもできる。このように、本発明者は、ヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$である結晶を初めて確認した。このヘキサゴナル構造の$Mg_xM_{1-x}O$結晶により、スピン偏極伝導電子を高効率に生成できる積層体を実現するための$Mg_xM_{1-x}O$膜を提供することができる。

【００４４】

なお、$Mg_xM_{1-x}O$膜内には、ヘキサゴナル構造を形成できる範囲で他の元素が含まれていてもよい。

【００４５】

図８は、ヘキサゴナル構造の結晶構造を示す図である。ヘキサゴナル構造は、ＭｇまたはＭｇまたはＭを２０、Ｏを２２、２０と２２との結合を棒で示したとき、図８の結晶構造である。ヘキサゴナル構造においては、ウルツ鉱構造の２０が上下の２２と結合し、５つの２２と結合している。

【００４６】

強磁性金属から高移動度２次元電子ガスや低キャリア濃度半導体材料に対してスピン注入する場合、ショットキー接合やトンネリング絶縁膜を介しスピン注入することにより高効率なスピン注入が可能となる。しかしながら、ショットキー接合やトンネリング絶縁膜を介すとコンダクタンスが小さくなってしまう。本発明によれば、ショットキー接合やトンネリング絶縁膜を介さず、２次元電子ガスや低キャリア濃度半導体材料に対して高効率なスピン注入を行なうことができる。低電子濃度のミスマッチが狭いためである。このように、スピン偏極伝導電子を高効率に生成することができる。これにより、例えばスピン偏極伝導電子を用いたスピントランジスタに本発明を応用することができる。

【００４７】

以上、本発明の好ましい実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【符号の説明】

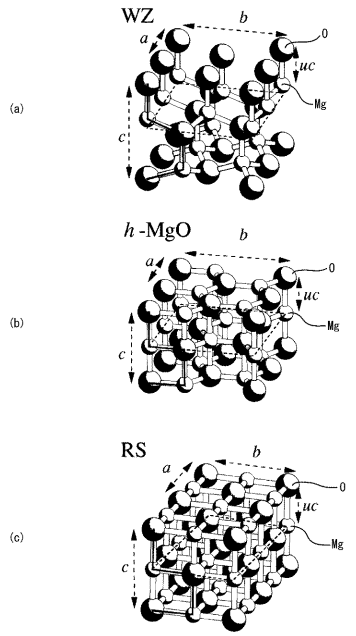
【００４８】

１０	ＺｎＯ基板
１２	ＺｎＯ膜
１４	ＭｇＣｏＯ膜
１６	ＭｇＺｎＯ膜
２０	ＭｇまたはＭ
２２	Ｏ

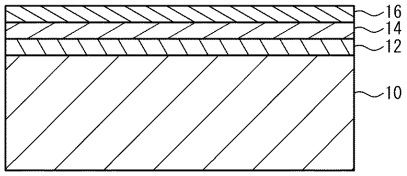
【要約】

本発明は、ウルツ鉱構造を有する結晶である下地膜１２と、Ｍを３ｄ遷移金属元素、かつＸの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、前記下地膜上に形成されたヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$膜１４と、を具備する積層体である。また、本発明は、Ｍを３ｄ遷移金属元素、かつＸの範囲を０＜Ｘ＜１としたとき、ヘキサゴナル構造を有する$Mg_xM_{1-x}O$であることを特徴とする結晶である。

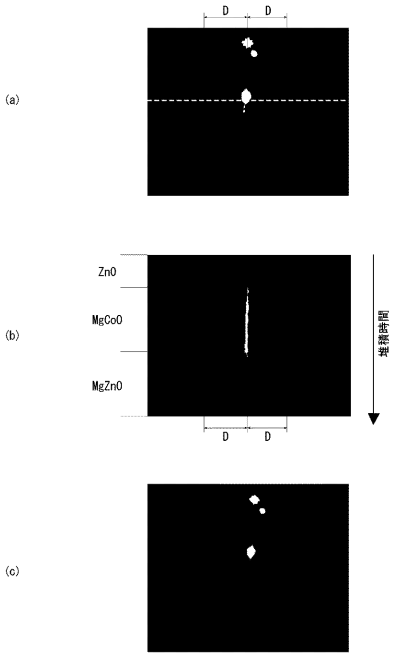
【図１】


WZ
a
b
0
uc
Mg
c
(a)
h-MgO
(b)
RS
(c)

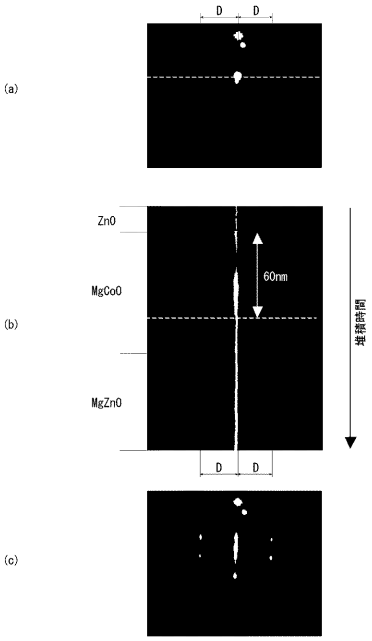
【図２】


16
14
12
10

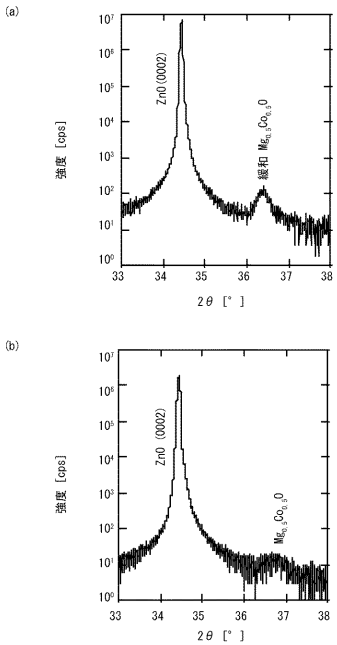
【図３】


D
D
(a)
ZnO
MgCoO
MgZnO
(b)
堆積時間
(c)

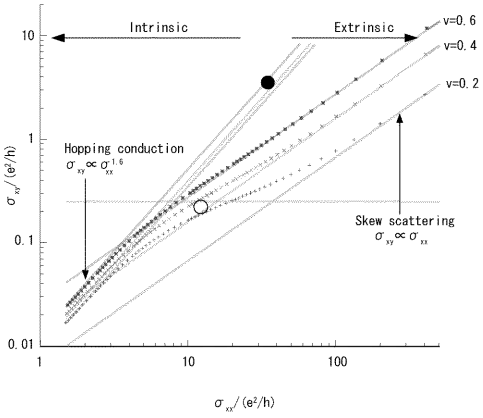
【図４】


D
D
(a)
ZnO
60nm
MgCoO
MgZnO
(b)
堆積時間
(c)

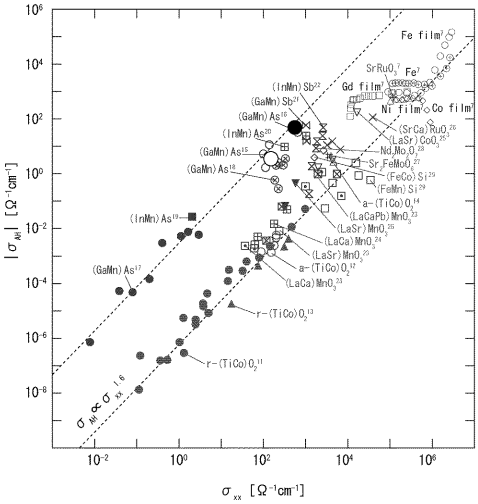
【図５】


(a)
ZnO (0002)
緩和 $Mg_{0.3}Co_{0.3}O$
強度 [cps]
2θ [°]
(b)
ZnO (0002)
$Mg_{0.3}Co_{0.3}O$
強度 [cps]
2θ [°]

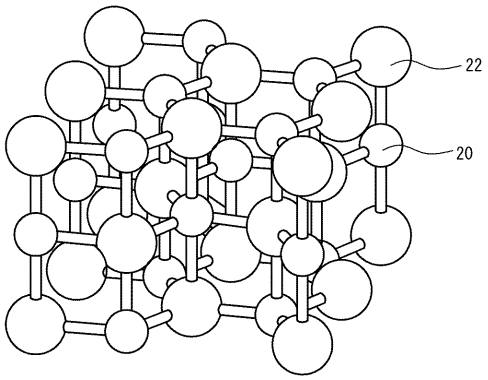
【図６】


Intrinsic
Extrinsic
v=0.6
v=0.4
v=0.2
Hopping conduction
$\sigma_{xy} \propto \sigma_{xx}^{1.6}$
Skew scattering
$\sigma_{xy} \propto \sigma_{xx}$
$\sigma_{xy}/(e^2/h)$
$\sigma_{xx}/(e^2/h)$

【図７】


Fe film
SrRuO3
Fe
Gd film
Ni film
Co film
(InMn)Sb
(GaMn)Sb
(GaMn)As
(InMn)As
(GaMn)As
(GaMn)As
(SrCa)RuO3
(LaSr)CoO3
Nd2MoO4
Sr2FeMoO6
(FeCo)Si
(FeMn)Si
a-(TiCo)O2
(LaCaPb)MnO3
(LaSr)MnO3
(LaCa)MnO3
(LaSr)MnO3
a-(TiCo)O2
(LaCa)MnO3
(InMn)As
(GaMn)As
r-(TiCo)O2
r-(TiCo)O2
$\sigma_{AH} \propto \sigma_{xx}^{1.6}$
$|\sigma_{AH}|$ [Ω⁻¹cm⁻¹]
σ_{xx} [Ω⁻¹cm⁻¹]

【図８】


22
20

フロントページの続き

(56)参考文献　特開２００９－０４３９２０（ＪＰ，Ａ）
Mingshan Xue, Qinlin Guo,Kehui Wu, and Jiandong Guo, Tunable surface band gap in MgxZn 1-xO thin films, THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS, ２００８年１２月１７日, 129, Page.234707-1 - 234707-6
S S Hullavarad, N V Hullavarad, D E Pugel, S Dhar,I Takeuchi, T Venkatesan2 and R D Vispute, Homo- and hetero-epitaxial growth ofhexagonal and cubic MgxZn1.x O alloythin films by pulsed laser d, Journal of Physics D: Applied Physics, ２００７年　８月　３日, 40, Page.4887-4895
B. L. Stevens, D. J. Cohen, and S. A. Barnetta, Structure and interdiffusion of epitaxial ZnO/ZnMgO nanolayered thin films, Journal of Vaccum Science Technology, 米国, Vol. 26 , No.6, Page.1538-1541
Zhang Baoping , Kang J unyong , Yu Jinzhong , Wang Qiming , and Segawa Yusaburo, Growth and Optical Properties of ZnO Films and Quantum Wells, CHIN ESE JOU RNAL OF S EMICONDUCTORS, 中国, ２００６年　４月, Vol.7 No.4, Page.613-622

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)

Ｈ０１Ｆ　１０／００－１０／３２
　　４１／１４－４１／３４
Ｈ０１Ｌ　２７／２２
　　２９／８２
　　４３／００－４３／１４

Ｓｃｉｅｎｃｅ　Ｄｉｒｅｃｔ
ＩＥＥＥ　Ｘｐｌｏｒｅ
ＪＳＴＰｌｕｓ（ＪＤｒｅａｍＩＩ）