

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2013年4月11日(11.04.2013)

WIPO | PCT

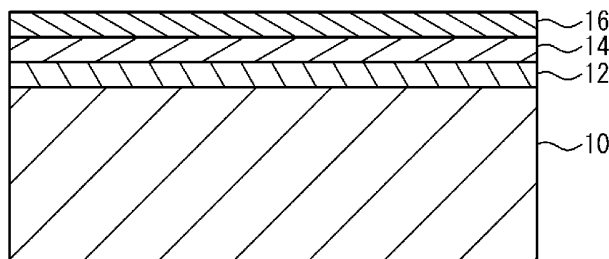
(10) 国際公開番号

WO 2013/051612 A1

- (51) 国際特許分類:
H01F 10/10 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
H01F 10/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/075662
- (22) 国際出願日: 2012年10月3日(03.10.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-222161 2011年10月6日(06.10.2011) JP
- (71) 出願人: 独立行政法人科学技術振興機構(JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県川口市本町四丁目1番8号 Saitama (JP).
- (72) 発明者: 塚崎 敦(TSUKAZAKI Atsushi); 〒1140015 東京都北区中里1-15-2 大河原ビル1001 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 片山 修平(KATAYAMA Shuhei); 〒1040031 東京都中央区京橋1-6-1 三井住友海上テブコビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: CRYSTAL AND LAMINATE

(54) 発明の名称: 結晶および積層体



(57) Abstract: The present invention is a laminate that comprises: a base film (12) which is a crystal having a wurtzite structure; and an $Mg_xM_{1-x}O$ film (14) which is formed on the base film and has a hexagonal structure, and wherein M is a 3d transition metal element and X is within the range of $0 < X < 1$. The present invention is also a crystal that is characterized by being $Mg_xM_{1-x}O$ which has a hexagonal structure and wherein M is a 3d transition metal element and X is within the range of $0 < X < 1$.

(57) 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。

WO 2013/051612 A1

明 細 書

発明の名称 : 結晶および積層体

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、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。

M B E に供給した元素：M g（マグネシウム）、C o（コバルト）、Z n（亜鉛）、O₂（酸素）ラジカル

堆積温度：750℃（サーモビューワで計測）

Z n 原料：Z n 金属 クヌードセンセルにて供給

Z n 供給蒸気圧：4 × 10⁻⁴ P a

M g 原料：M g 金属 クヌードセンセルにて供給

M g 供給蒸気圧：1 × 10⁻⁵ P a

C o 原料：C o 金属 クヌードセンセルにて供給

C o 供給蒸気圧：1 × 10⁻⁵ P a

O₂ラジカル生成法：200Wプラズマソース

O₂ラジカル流量：2 s c c m

[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、MgCO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、MgCO膜14の堆積途中 (MgCO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MgCO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、MgCO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、MgCO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、MgCO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。MgCO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MgCO膜14 (すなわちMgCO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MgCO膜14 (すなわち膜厚が60nm

m以下のMgCO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MgCO膜14の格子定数cは0.244nm、図5(b)のMgCO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MgCO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MgCO膜14は、ヘキサゴナル構造であると考えられる。すなわち、MgCO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MgCO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4 K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30 nm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30 nm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、20 K以下の温度で観測される。これは、磁氣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の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場合、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ScAlMgO₄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

x_x が大きくなるのがわかる。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、異なる物質同士の間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、磁氣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て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ふ。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、本発明に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

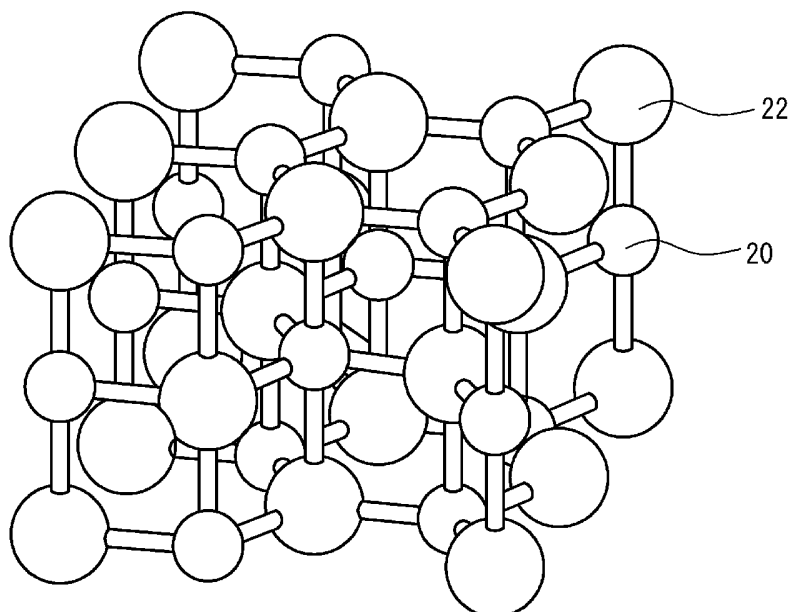
旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

符号の説明

[0048]	1 0	Z n O 基板
	1 2	Z n O 膜
	1 4	M g C o O 膜
	1 6	M g Z n O 膜
	2 0	M g または M
	2 2	O

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 $M_g M_{1-x} O$ 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

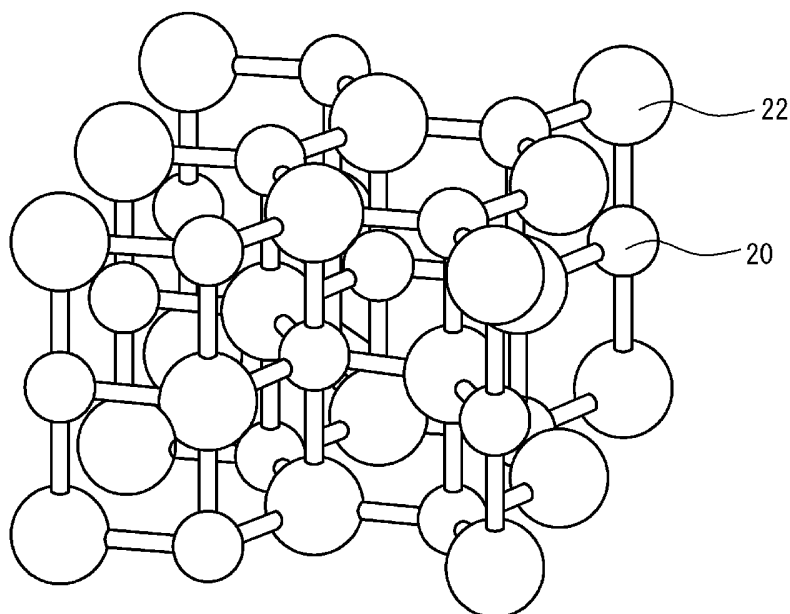


ことを特徴とする積層体。

- [請求項2] 前記下地膜の格子定数aおよびbは、前記 $M_g M_{1-x} O$ 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 $M_g M_{1-x} O$ 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] 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請求項1から5のいずれか一項記載の積層体。
- [請求項7] 前記 $Mg_xM_{1-x}O$ 膜は $Mg_xCo_{1-x}O$ 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

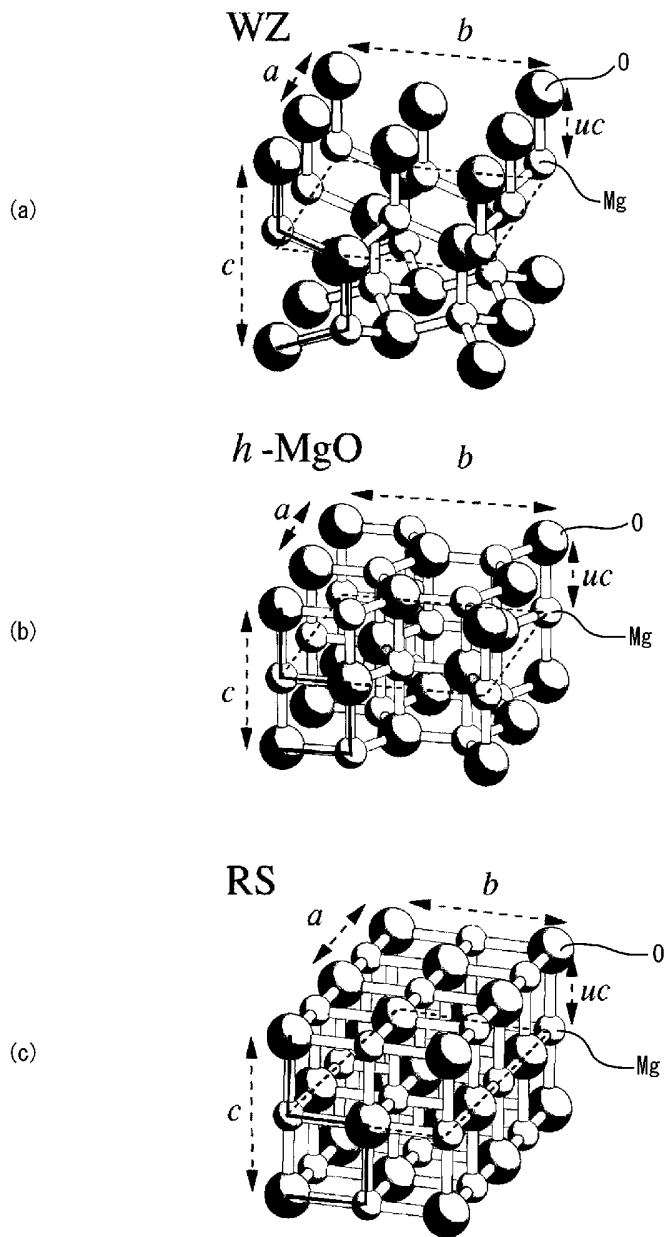


ことを特徴とする結晶。

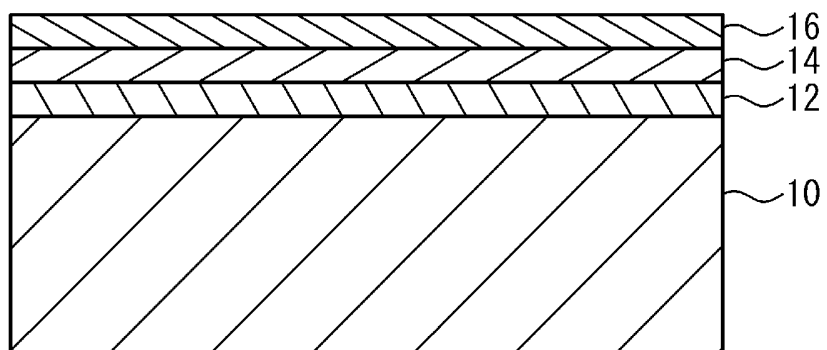
[請求項10] 前記 $Mg_xM_{1-x}O$ は $Mg_xCo_{1-x}O$ であることを特徴とする請求項9記載の結晶。

[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。

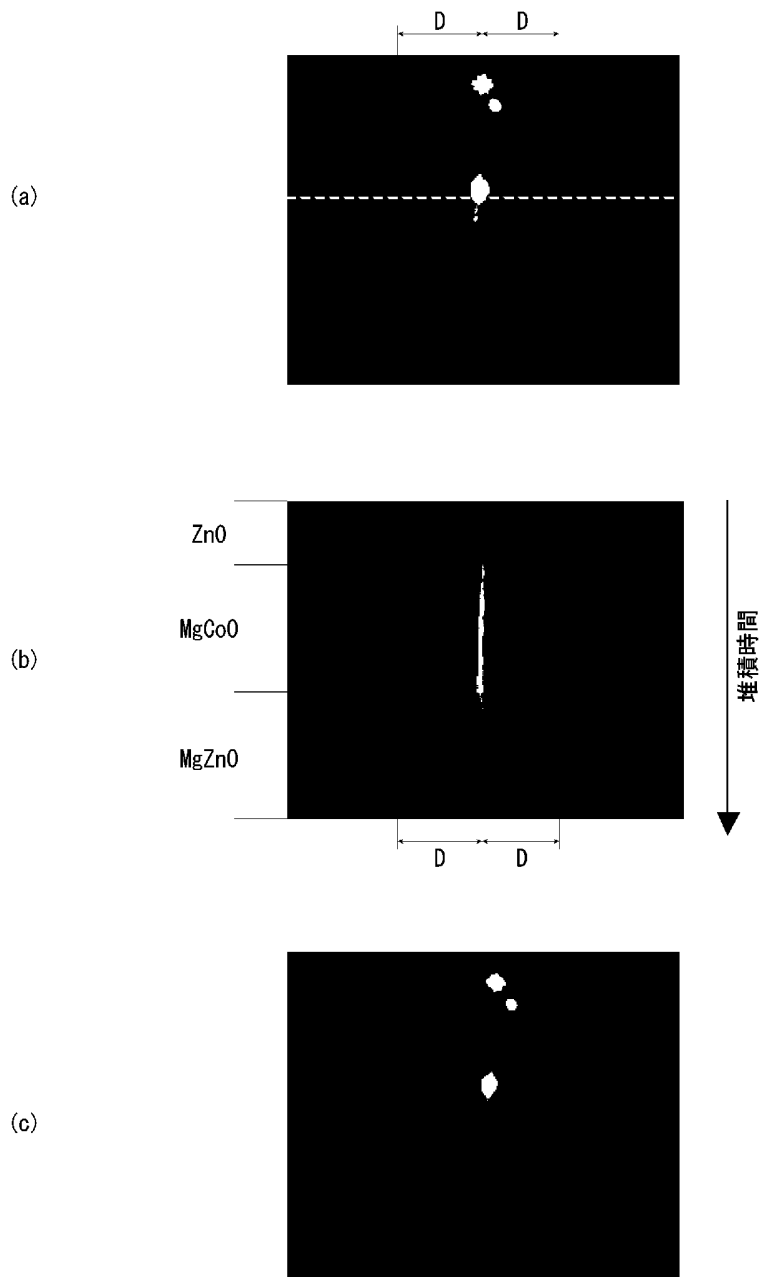
[圖1]



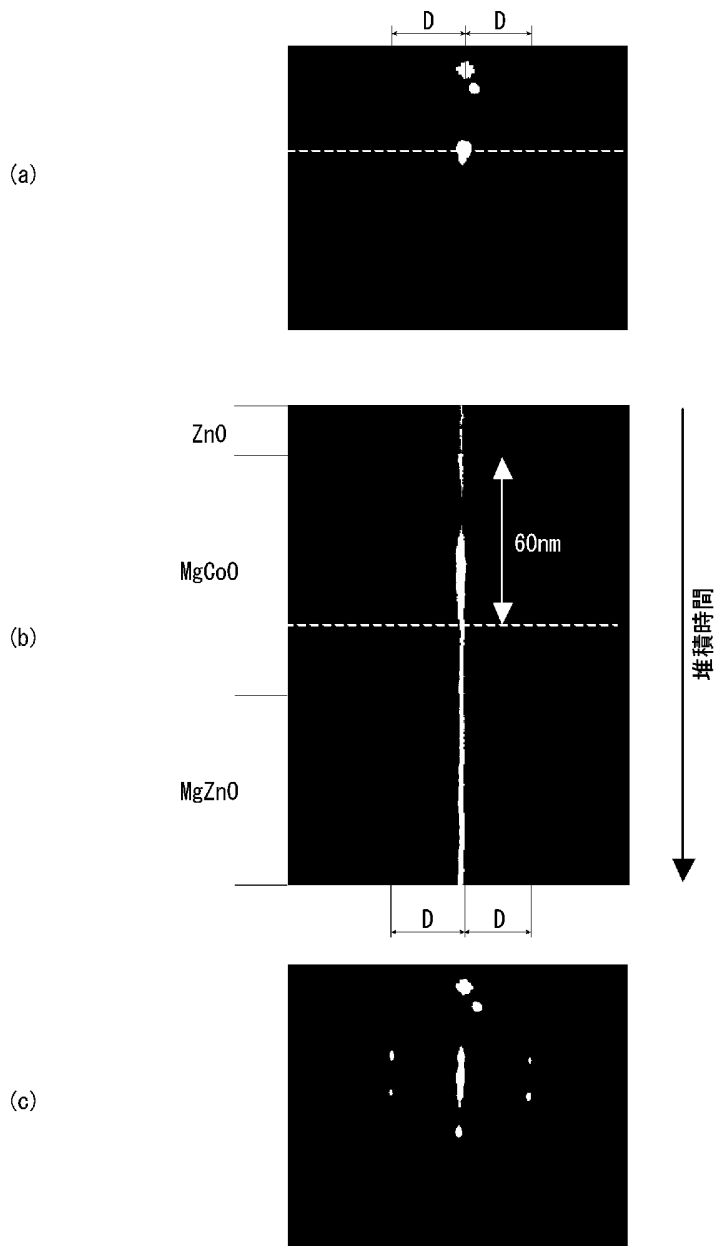
[圖2]



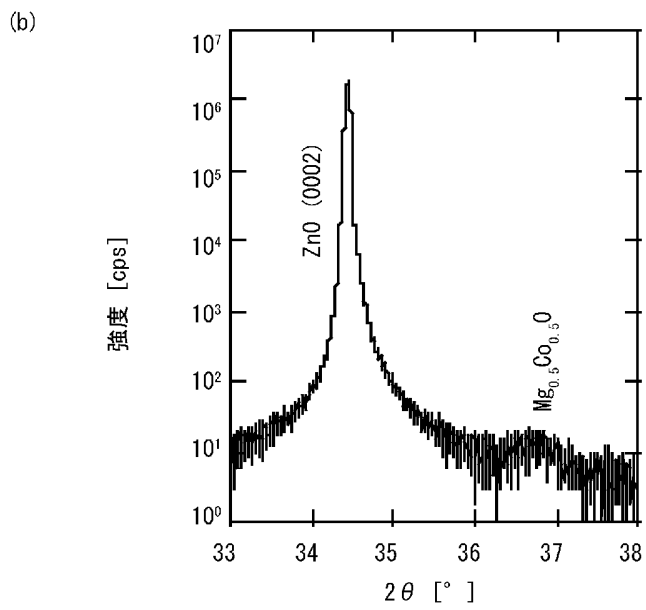
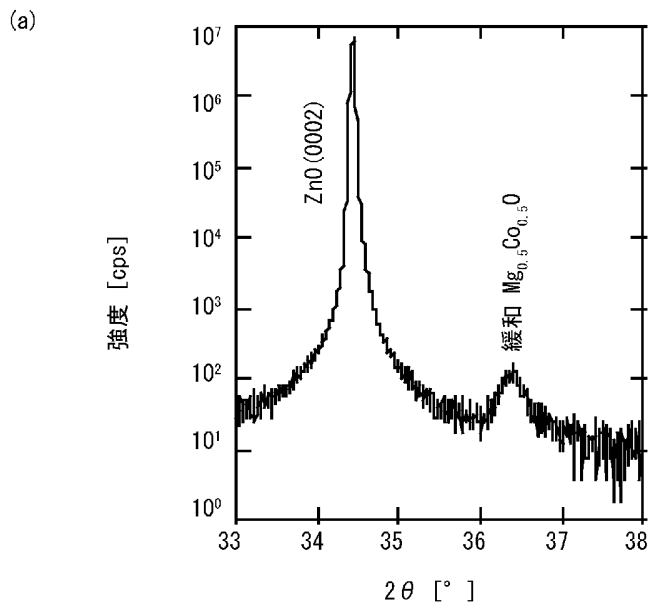
[圖3]



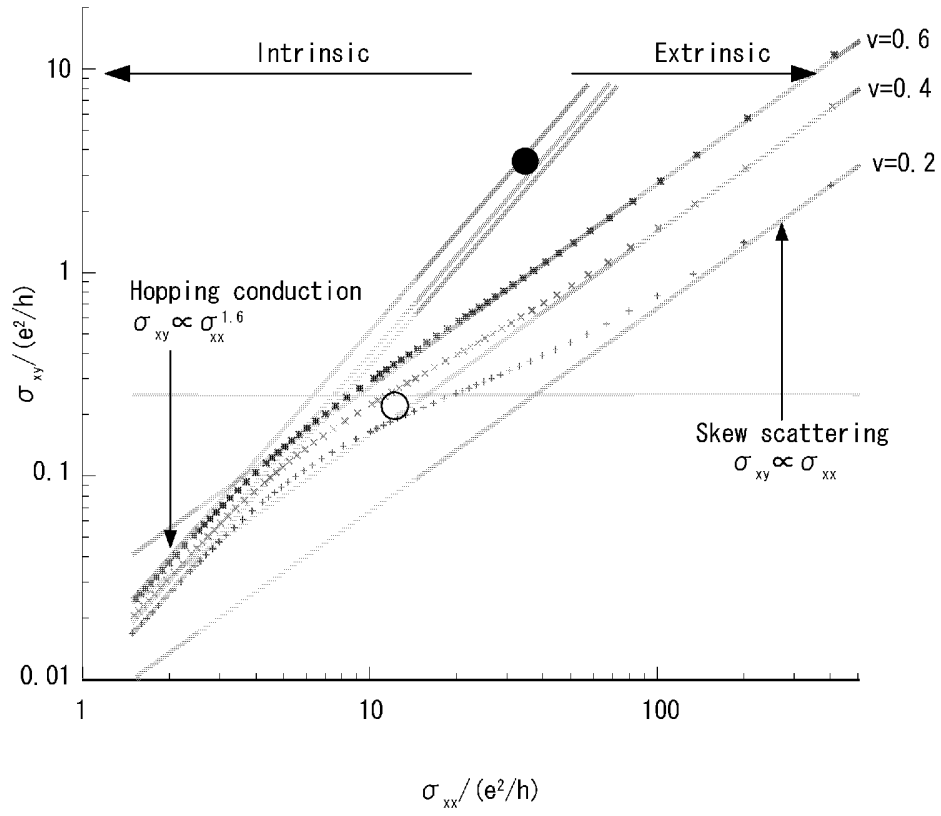
[圖4]



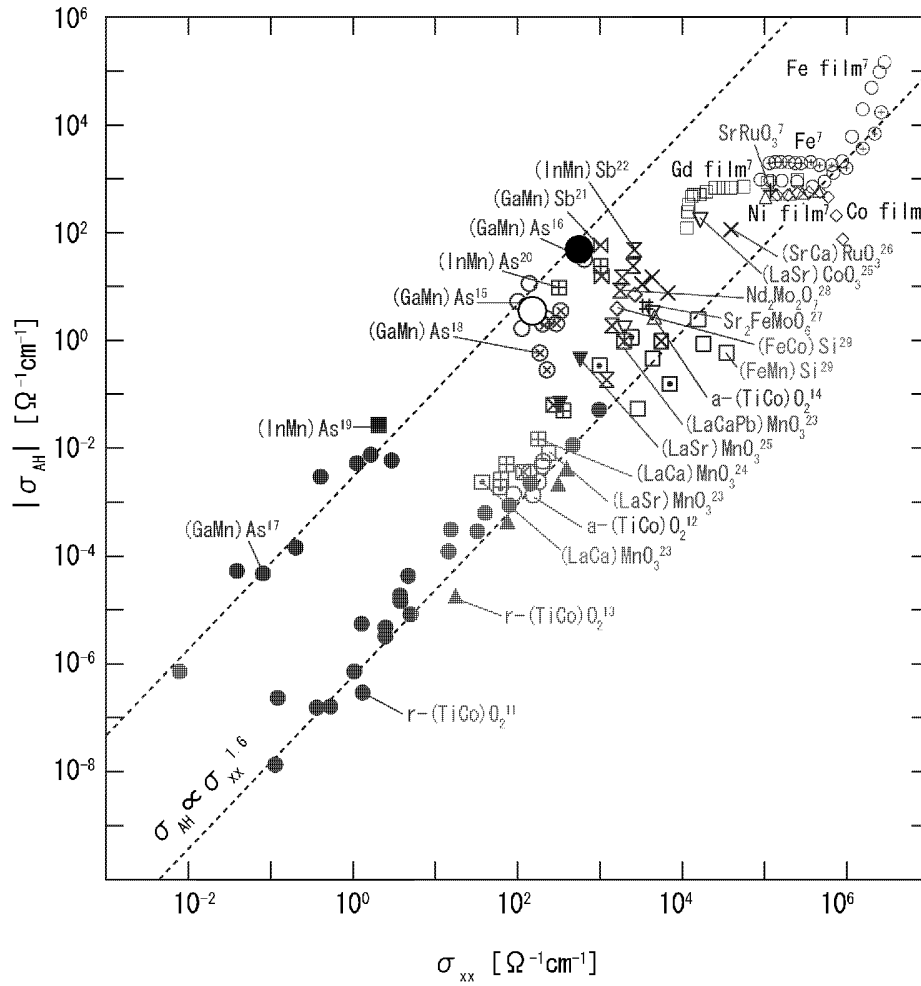
[図5]



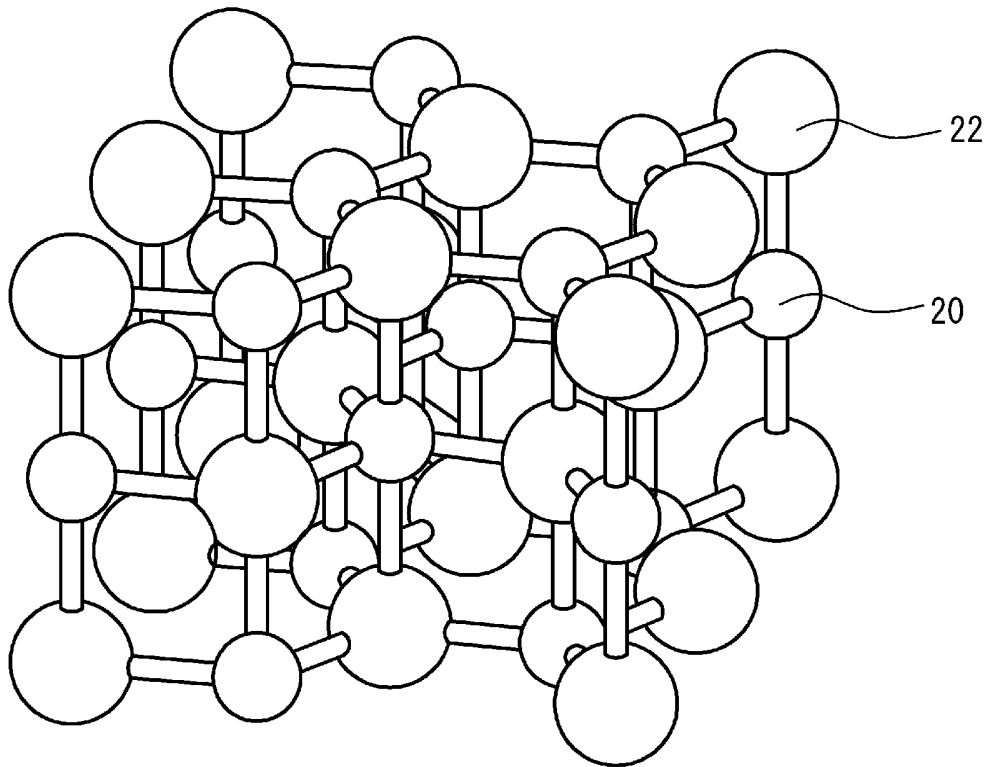
[圖6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/075662

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F10/10(2006.01) i, H01F10/32(2006.01) i, H01L29/82(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F10/10, H01F10/32, H01L29/82

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Science Direct, JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	Mingshan Xue, Qinlin Guo, Kehui Wu, and Jiandong Guo, Tunable surface band gap in Mg _x Zn _{1-x} O thin films, THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS, 129, 2008.12.17, Page.234707-1 - 234707-6	1-3, 9 4-8, 10, 11
X A	S S Hullavarad, N V Hullavarad, D E Pugel, S Dhar, I Takeuchi, T Venkatesan2 and R D Vispute, Homo- and hetero-epitaxial growth of hexagonal and cubic Mg _x Zn _{1-x} O alloy thin films by pulsed laser deposition technique, Journal of Physics D: Applied Physics, 40, 2007.08.03, Page.4887-4895	1-3, 9 4-8, 10, 11

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 December, 2012 (20.12.12)Date of mailing of the international search report
08 January, 2013 (08.01.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/075662

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	B. L. Stevens, D. J. Cohen, and S. A. Barnetta, Structure and interdiffusion of epitaxial ZnO/ZnMgO nanolayered thin films, Journal of Vacuum Science Technology, Vol.26 , No.6, Page.1538-1541	1-11
A	Zhang Baoping, Kang J unyong, Yu Jinzhong, Wang Qiming, and Segawa Yusaburo, Growth and Optical Properties of ZnO Films and Quantum Wells, CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS, Vol.7 No.4, 2006.04, Page.613-622	1-11
A	JP 2009-43920 A (Rohm Co., Ltd., Tohoku University), 26 February 2009 (26.02.2009), paragraphs [0024] to [0031]; fig. 1, 2 & US 2011/0114937 A1 & WO 2009/020070 A1 & TW 200915623 A	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01F10/10(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01F10/10, H01F10/32, H01L29/82

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2012年
 日本国実用新案登録公報 1996-2012年
 日本国登録実用新案公報 1994-2012年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)
 Science Direct, JSTPlus(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	Mingshan Xue, Qinlin Guo, Kehui Wu, and Jiandong Guo, Tunable surface band gap in $MgxZn_{1-x}O$ thin films, THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS, 129, 2008. 12. 17, Page. 234707-1 - 234707-6	1-3, 9 4-8, 10, 11
X A	S S Hullavarad, N V Hullavarad, D E Pugel, S Dhar, I Takeuchi, T Venkatesan ² and R D Vispute, Homo- and hetero-epitaxial growth of hexagonal and cubic $MgxZn_{1-x}O$ alloy thin films by pulsed laser deposition technique, Journal of Physics D: Applied Physics, 40, 2007. 08. 03, Page. 4887-4895	1-3, 9 4-8, 10, 11

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 20. 12. 2012	国際調査報告の発送日 08. 01. 2013
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 塩▲崎▼ 義晃 電話番号 03-3581-1101 内線 3551

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	B. L. Stevens, D. J. Cohen, and S. A. Barnetta, Structure and interdiffusion of epitaxial ZnO/ZnMgO nanolayered thin films, Journal of Vacuum Science Technology, Vol.26 , No.6, Page.1538-1541	1-11
A	Zhang Baoping , Kang J unyong , Yu Jinzhong , Wang Qiming , and Segawa Yusaburo, Growth and Optical Properties of ZnO Films and Quantum Wells, CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS, Vol.7 No. 4, 2006.04, Page. 613-622	1-11
A	JP 2009-43920 A (ローム株式会社, 国立大学法人東北大学) 2009.02.26, 段落【0024】 - 【0031】, 【図1】, 【図2】 & US 2011/0114937 A1 & WO 2009/020070 A1 & TW 200915623 A	1-11