

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-17236

(P2012-17236A)

(43) 公開日 平成24年1月26日(2012.1.26)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C30B 29/16 (2006.01)</b>	C30B 29/16	4G077
<b>C30B 23/08 (2006.01)</b>	C30B 23/08	4K029
<b>C23C 14/28 (2006.01)</b>	C23C 14/28	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-157342 (P2010-157342)</p> <p>(22) 出願日 平成22年7月9日 (2010.7.9)</p> <p>特許法第30条第1項適用申請有り 掲載日; 2010年6月18日 掲載アドレス; <a href="http://prb.aps.org/accepted">http://prb.aps.org/accepted</a></p>	<p>(71) 出願人 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</p> <p>(74) 代理人 100108671 弁理士 西 義之</p> <p>(72) 発明者 須崎 友文 東京都世田谷区弦巻2-18-27ベルハイム桜新町201</p> <p>(72) 発明者 松崎 功佑 神奈川県相模原市東林間8-17-22北岡コーポ202</p> <p>(72) 発明者 細野 秀雄 神奈川県大和市中央林間4-9-13-301</p>
--	--

最終頁に続く

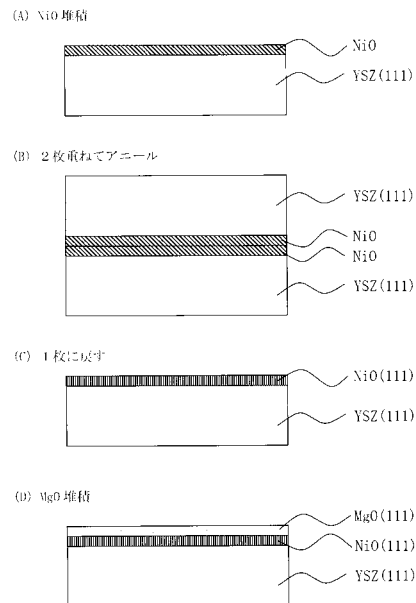
(54) 【発明の名称】 面方位 (111) のMgO薄膜の作製方法

(57) 【要約】

【課題】バルク単結晶MgOを切り出して原子スケールで平坦な(111)面を研磨により得ることは成功していない。また、成膜法でも原子スケールで平坦なMgO(111)面は得られていない。

【解決手段】レーザーアブレーション堆積法によりMgO焼結体又は単結晶をターゲットとして用いてMgO薄膜を基板上に堆積する方法において、基板として、単結晶NiO(111)薄膜層を原子スケールで表面平坦に成膜した単結晶基板を用い、該NiO(111)薄膜層上に「Mg-O」層を1ユニットとして積層状に堆積させてエピタキシャル成長させることによってMgO(111)薄膜を原子スケールで表面平坦に成膜することを特徴とする面方位(111)のMgO薄膜の作製方法。MgO(111)薄膜は、「Mg-O」層を1ユニットとしてエピタキシャル成長する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

レーザーアブレーション堆積法により MgO 焼結体又は単結晶をターゲットとして用いて MgO 薄膜を基板上に堆積する方法において、基板として、単結晶 NiO(111) 薄膜層を原子スケールで表面平坦に成膜した単結晶基板を用い、該 NiO(111) 薄膜層上に「Mg-O」層を 1 ユニットとして積層状に堆積させてエピタキシャル成長させることによって MgO(111) 薄膜を原子スケールで表面平坦に成膜することを特徴とする面方位(111)の MgO 薄膜の作製方法。

## 【請求項 2】

基板温度を 500 ~ 900 とし、酸素分圧を  $10^{-4}$  ~ 1 Pa とし MgO(111) 薄膜を成膜することを特徴とする請求項 1 記載の MgO 薄膜の作製方法。 10

## 【請求項 3】

「Mg-O」の層数が 1 ~ 500 であることを特徴とする請求項 1 記載の MgO 薄膜の作製方法。

## 【請求項 4】

「Mg-O」の層数が 1 ~ 10 であり、「Mg-O」層の堆積時に RHEED 強度振動をモニタリングすることによって、所望の層数で堆積を停止することを特徴とする請求項 1 記載の MgO 薄膜の作製方法。

## 【請求項 5】

MgO(111) 薄膜の二乗平均粗さ  $R_{RMS}$  が 0.25 nm を超えないことを特徴とする請求項 1 記載の MgO 薄膜の作製方法。 20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、酸化マグネシウム(MgO) 薄膜の作製方法、特に面方位(111)の MgO (以下、「MgO(111)」という) 薄膜を原子スケールで表面平坦にレーザーアブレーション堆積法によって作製する方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

結晶系が立方晶系の(111)面を有する薄膜の堆積用基板としては、例えば、イットリア安定化ジルコニア(YSZ)、チタン酸ストロンチウム( $SrTiO_3$ )、酸化マグネシウム(MgO)、マグネシウムアルミネート( $MgAl_2O_4$ )、酸化イットリウム、 $(LaAlO_3)_{0.3} - (SrAl_{0.5}Ta_{0.5}O_3)_{0.7}$  (LSAT)、シリコンなどが使用される。原子スケールで平坦でかつ結晶性の良好な酸化物単結晶基板表面を形成するには通常、単結晶基板の表面を研磨する方法が用いられている。 30

## 【0003】

代表的な酸化物絶縁体である MgO は、信頼できる絶縁体基板として面方位が(100)の研磨面を持つ基板が市販されている。しかし、単結晶から MgO(111) 面を切り出し、機械的に研磨する方法では、表面の平坦性は、きわめて悪く、表面疵等の欠陥も生じやすい。このような方法で静電的に不安定な MgO(111)の平坦面を得るのは困難であり、RHEED 像には表面の凹凸を反映した透過回折像が現われ、Kikuchi 線は現われていない(非特許文献 1)。 40

## 【0004】

この問題を解決する一手法として、表面が(100)面、(111)面、(110)面のいずれかの面である MgO 基板の表面に 3C-SiC 膜を設ける際に、MgO 基板を水素雰囲気中で 1000 以上 1600 以下に加熱し、所定時間保持することにより MgO 基板の表面に原子ステップを形成する方法が提案されている(特許文献 1)。

## 【0005】

MgO 以外の他の基板上に原子スケールで平坦な MgO(111) 薄膜を気相成長させる試みは、6H-SiC(0001)(非特許文献 2)、GaN(0002)(非特許文献 3)、 $Al_2O_3$ (0 50

001) (非特許文献4、5)、Ag(111) (非特許文献6)などの基板を用いて行われてきたが、原子間力顕微鏡での断面プロファイルにより原子スケールでのステップ段差が確認でき、成長時に反射高速電子線回折(RHEED)による強度振動が見え、原子スケールでの積層状(layer by layer)成長が確認できたものは今までなかった。

【0006】

MgO(111)は、強誘電体薄膜素子のバッファ層としても用いられる(特許文献2、3)。また、MgO(111)面は、分子吸着、触媒反応に対して活性を持つことが知られており、メタノールの低温での分解触媒への利用が報告されている(非特許文献7)。

【0007】

本発明者らは、先に、有機ELディスプレイ等の表示デバイス等のホール注入電極や、発光ダイオード(LED)、レーザーダイオード(LD)、紫外線検出器のp型層として使用できるp型酸化物半導体として原子スケールで平坦なNiO(111)薄膜を単結晶基板上に形成する方法を開発し、特許出願した(特許文献4、非特許文献8)。MgOと同様に岩塩構造を取るNiOも単結晶を切り出して(111)平坦面を得るのは困難であるが、上に示した方法により単結晶基板上にNiO(111)超平坦面を得ることが出来る。しかし、この方法では原子スケールで平坦なMgO(111)表面を形成しようとする、MgOと単結晶基板が固溶反応するために実現できない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2007-149739号公報

【特許文献2】特開平6-342920号公報

【特許文献3】特開平10-120494号公報

【特許文献4】特開2004-91253号公報(特許第4,014,473号)

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】Lazarov et al., PHYSICAL REVIEW B 71, 115434 (2005)

【非特許文献2】Goodrich et al., APPLIED PHYSICS LETTERS 90, 042910 (2007)

【非特許文献3】Craft et al., APPLIED PHYSICS LETTERS 88, 212906 (2006)

【非特許文献4】Susaki et al., Applied Physics Express 2 091403 (2009)

【非特許文献5】Susaki, ANNUAL REPORT OF THE MURATA SCIENCE FOUNDATION, No.23, A81 129 (2009)

【非特許文献6】Kiguchi et al., PHYSICAL REVIEW B 68, 115402 (2003)

【非特許文献7】Hu et al., J. Phys. Chem. C 111, 12038 (2007)

【非特許文献8】H. Ohta, M. Hirano, K. Nakahara, H. Maruta, T. Tanabe, M. Kamiya, T. Kamiya, and H. Hosono, Appl. Phys. Lett. 83, 1029 (2003)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

基板、又は基板に堆積した薄膜の原子スケールで平坦な面は、この上に極く薄膜のデバイス構造を作製する際にきわめて重要となる。例えば、極く薄膜のチャンネル層をこの上に構築する場合、下地の面の粗さがチャンネル層の厚みと同じオーダーの大きさであると、下地の面の凹凸での散乱の効果が大きくなり、チャンネル層は設計どおりの動作を行わない。

【0011】

MgOは、(100)研磨面を持つ基板が市販されている。一方、MgOの(111)面は原子スケールで平坦化されると、全て陽イオン( $Mg^{2+}$ )、又は全て陰イオン( $O^{2-}$ )から成る面が露出することになり、静電的に極めて不安定である。実際、バルク単結晶MgOを切り出して原子スケールで平坦な(111)面を研磨により得ることは成功していない。

【0012】

10

20

30

40

50

本発明者らは、原子スケールで平坦な面を持つ  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (0001) 基板に  $\text{MgO}$  (111) を堆積する方法を報告した(非特許文献4)が、図4に示すように、二乗平均粗さは  $0.2\text{ nm}$  程度を超え、しかも膜が厚くなるにつれて粗さが大きくなり、厚さ  $80\text{ nm}$  では粗さは約  $0.6\text{ nm}$  であり、原子スケールで平坦な  $\text{MgO}$  (111) 面は得られていなかった。

【0013】

現在、結晶系が3方晶系、6方晶系の薄膜の堆積に用いる酸化物基板としては、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0001)、 $\text{YSZ}$  (111)、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (111)、 $\text{ZnO}$  (0001) については原子スケールで平坦な市販品が存在する。これらの基板の格子定数は  $\text{MgO}$  とは有意に異なるため、そのまま  $\text{MgO}$  (111) 平坦面の代わりにの基板にはならない。

【0014】

$\text{MgO}$  (111) 面は、結晶系が3方晶系、6方晶系薄膜の堆積用の基板として利用が可能であり、 $\text{MgO}$  は、現在市販されている  $\text{MgO}$  以外の基板材料とは格子定数が異なるため、 $\text{MgO}$  (111) を基板、又はバッファ層として用いれば堆積した薄膜に今までに試されていない格子歪を導入することが可能となる。

【0015】

また、岩塩構造の(111)面に固有の電気的な不安定性に起因する電気的、化学的な活性は理論的に注目されてきたが、原子スケールで平坦な表面を持つ  $\text{MgO}$  (111) 薄膜の実現は、 $\text{MgO}$  の大きな電気的な不安定性のためにこれまで阻まれてきた。よって、 $\text{MgO}$  (111) 面の活性の実証的評価はなされておらず、電気的、化学的な活性の触媒等への利用も進んでいなかった。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、(1) レーザーアブレーション堆積法により  $\text{MgO}$  焼結体又は単結晶をターゲットとして用いて  $\text{MgO}$  薄膜を基板上に堆積する方法において、基板として、単結晶  $\text{NiO}$  (111) 薄膜層を原子スケールで表面平坦に成膜した単結晶基板を用い、該  $\text{NiO}$  (111) 薄膜層上に「 $\text{Mg-O}$ 」層を1ユニットとして積層状に堆積させてエピタキシャル成長させることによって  $\text{MgO}$  (111) 薄膜を原子スケールで表面平坦に成膜することを特徴とする面方位(111)の  $\text{MgO}$  薄膜の作製方法、である。

【0017】

また、本発明は、(2) 基板温度を  $500 \sim 900$  とし、酸素分圧を  $10^{-4} \sim 1\text{ Pa}$  とし、 $\text{MgO}$  (111) 薄膜を成膜することを特徴とする上記(1)の  $\text{MgO}$  薄膜の作製方法、である。

【0018】

また、本発明は、(3) 「 $\text{Mg-O}$ 」の層数が  $1 \sim 500$  であることを特徴とする上記(1)の  $\text{MgO}$  薄膜の作製方法、である。

【0019】

また、本発明は、(4) 「 $\text{Mg-O}$ 」の層数が  $1 \sim 10$  であり、「 $\text{Mg-O}$ 」層の堆積時に RHEED 強度振動をモニタリングすることによって、所望の層数で堆積を停止することを特徴とする上記(1)の  $\text{MgO}$  薄膜の作製方法、である。

【0020】

また、本発明は、(5)  $\text{MgO}$  (111) 薄膜の二乗平均粗さ  $R_{\text{RMS}}$  が  $0.25\text{ nm}$  を超えないことを特徴とする上記(1)の  $\text{MgO}$  薄膜の作製方法、である。

【0021】

本発明者らは、単結晶基板に成膜した原子スケールで表面平坦な単結晶  $\text{NiO}$  (111) 薄膜上にレーザーアブレーション堆積法により  $\text{MgO}$  焼結体又は単結晶をターゲットとして用いて  $\text{MgO}$  薄膜を作製することで、初めて原子スケールで「 $\text{Mg-O}$ 」を積層状(レイヤーバイレイヤー)に堆積することが可能となり、 $\text{MgO}$  (111) 薄膜を原子スケールで表面平坦に作製できることを見出した。なお、「 $\text{Mg-O}$ 」とは、 $\text{MgO}$  (111) 薄膜において、電気的中性を保った最も薄い膜であり、 $\text{Mg}$  だけが存在する平面と、それに隣接する  $\text{O}$  だけが存在する平面の2平面から構成される層のことをいう。

10

20

30

40

50

## 【0022】

上記の単結晶基板としては、好ましくは耐熱性単結晶基板、例えば、YSZのような安定化ジルコニア等が用いられるが、YSZに直接MgOを室温で堆積し、後で1,300で加熱してアニールするという方法は、MgOとYSZが反応するので実行できない。中間温度でMgOを堆積させると、ある程度表面平坦な膜が形成されるが、原子スケールで平坦な表面は得られず、RHEED強度振動も見られない。原子スケールで表面平坦でないNiO薄膜上にMgOを堆積すると、原子スケールで平坦なMgO表面は得られず、RHEED強度振動も見られない。

## 【0023】

なお、岩塩構造の(111)面の電氣的な不安定さという点ではMgOもNiOも同様であるが、NiOの場合は遷移金属であるNiがさまざまな価数を取りうるため、電氣的不安定性を緩和するような電子配置を取ることが予想できる。その点で、MgO(111)面の方は、強いイオン結合性、非常に大きいバンドギャップと合わせて、NiOより不安定性は高い。単結晶NiO(111)薄膜は、不安定性の高いMgO(111)面の堆積に際してバッファ層としての機能を有するが、NiO(111)薄膜をアニール処理により超平坦単結晶膜とした場合に、他の基板材料では、従来実現出来なかったより不安定なMgO(111)薄膜のレイヤーバイレイヤー成長を可能とし、原子スケールで表面平坦な膜が堆積する理由は明確ではない。

10

## 【0024】

さらに、NiO(111)表面では不安定性を部分的に緩和するために原子位置の面内方向の再構成を生じるのに対し、本発明の方法で作製したMgO(111)表面は高い不安定性にもかかわらず面内方向の再構成を生じない。この理由は明らかではないが、再構成を生じない本MgO(111)表面は、他の膜の成長のためのテンプレートとして有用性は大きい。

20

## 【0025】

本発明の方法で作製した原子スケールで表面平坦なMgO(111)薄膜は、他の薄膜成長のためのバッファ層として特に有用である。特に、本MgO(111)薄膜の結晶性は他の薄膜に比べてきわめて高いため、この上に成長させた薄膜においても高い結晶性を期待できるという点で有用である。

## 【0026】

なお、本明細書中で用いている「原子スケールで表面平坦な」の意味は下記のとおりである。酸化物単結晶基板の表面は、通常、その製造工程における光学研磨による研磨痕があり、結晶そのものにもダメージが入っている。このような基板を大気中又は真空中で1000以上に加熱することによって表面拡散を起こさせると超平坦化した表面が得られる。超平坦化した酸化物単結晶基板の表面には結晶構造を反映した構造が現れる。すなわち、数100nm程度の幅を持つテラスとサブナノメータ(nm)程度の高さを持つステップからなる構造を、一般に「原子スケールで表面平坦」と呼ぶ。基板に堆積した薄膜についても同様である。

30

## 【0027】

テラス部分は平面状に配列した原子からなり、若干存在する欠陥の存在を無視すれば、完全に平坦化された表面である。ステップの存在により、構造全体で完全平坦化された表面とはならない。この構造を二乗平均粗さ測定方法による粗さ $R_{RMS}$ で表現すれば、 $R_{RMS}$ は1.0nm以下のものである。 $R_{RMS}$ は、原子間力顕微鏡で、例えば、1 $\mu$ m角の範囲を走査することによって算出した値である。

40

## 【発明の効果】

## 【0028】

単結晶からMgO(111)面を切り出し、機械的に研磨する方法では不可能であり、また、従来の $Al_2O_3(0001)$ 、YSZ(111)、 $MgAl_2O_4(111)$ 、 $ZnO(0001)$ 等の原子スケールで平坦な面を持つ基板を用いても得られなかった原子スケールで表面平坦な高い結晶性のMgO(111)薄膜の作製に成功した。

## 【図面の簡単な説明】

50

【0029】

【図1】本発明のMgO(111)薄膜の作製方法の工程を示す模式図。

【図2】実施例で得られたMgO(111)薄膜及び参照系の原子間力顕微鏡像を示す図面代用写真。

【図3】実施例におけるNiO(111)薄膜、MgO(111)薄膜のRHEED像を示す図面代用写真(A)及びMgO(111)堆積時のRHEED強度振動を示すグラフ(B)。

【図4】原子スケールで平坦な面を持つAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001)基板にPLD法で堆積したMgO(111)薄膜の表面粗さを示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0030】

図1に、本発明の方法を実施するための工程を概念図で示す。本発明の方法においては、表面を研磨した基板に直接、レーザーアブレーション堆積法によりMgO薄膜を堆積するのではなく、該単結晶基板表面に原子スケールで平坦なテラスとサブナノメータ(nm)のステップから構成されている単結晶NiO(111)薄膜を成膜した基板を用いる。このような単結晶NiO(111)薄膜の成膜方法は、前記特許第4,014,473号明細書・図面記載の方法を用いることができる。

10

【0031】

基板には、耐熱性単結晶である、酸化物単結晶基板、Si基板、SiC基板、CaF<sub>2</sub>基板などを用いる。酸化物単結晶基板には、例えば、YSZ等の安定化ジルコニア、サファイア、MgO、ZnOなどがある。特に、YSZは、アニールによるNiOとの反応が生じ難く、結晶性が悪くならないので好ましい。

20

【0032】

すなわち、まず、超平坦化した単結晶基板、好ましくはYSZ(111)基板の上にNiO単結晶薄膜を堆積する(図1のA)。堆積方法には、パルス・レーザー蒸着法、スパッタリング法、CVD法、MO-CVD法、MBE法などを用いることができる。堆積時の基板温度は100以下とする。下限温度は0である。堆積時の基板温度はより好ましくは10~50である。基板表面の二乗平均粗さR<sub>RMS</sub>は、1.0nm以下のものを用いることが好ましい。R<sub>RMS</sub>は原子間力顕微鏡で、例えば、1μm角を走査することによって算出できる。

【0033】

上記のYSZ基板に堆積したNiO薄膜は三次元的に堆積された粒子が観察されるのみで、原子スケールで平坦なテラスと分子層ステップの構造は見られないが、これを高温でアニールする。アニール温度は600~1500が好ましい。

30

【0034】

アニールする場合、NiO薄膜表面を、YSZ単結晶基板などで覆うことが好ましい。また、NiO薄膜を堆積した基板2枚を、膜部分を内側に挟み込む形で2枚重ねてアニールしてもよい(図1のB)。アニール中の雰囲気は大気又は酸素ガスが好ましい。次に2枚重ねた場合は、はがして1枚に戻す(図1のC)。これにより原子スケールで表面平坦な単結晶NiO(111)(以下、「NiO(111)/YSZ(111)」という)を形成する。

【0035】

次に、NiO(111)/YSZ(111)上にMgOをレーザーアブレーション法で堆積する(図1のD)。堆積時の基板温度は好ましくは500~900とし、酸素分圧は好ましくは10<sup>-4</sup>~1Paとする。基板温度が500より低いとRHEED振動は見えなくなり、900を超えるとNiO層へのMgOの顕著な固溶が予想されるので好ましくない。酸素分圧が10<sup>-4</sup>未満では高温では金属Niの析出が起こり、1Paを超えるとRHEED振動は再び見えなくなり好ましくない。ターゲットは、MgO焼結体又はMgO単結晶を用いる。ターゲットと基板との間隔は、任意であるが、装置の規模に応じて適宜選択する。上記の方法により、目的に応じて所望の膜厚となるように堆積する。

40

【0036】

この方法により「Mg-O」層を1ユニットとする層が10層まではユニットごとに積層

50

状(レイヤーバイレイヤー)に成長し、単結晶の研磨では存在しない原子スケールで表面平坦な(111)面が得られる。また、「Mg-O」の層数を10~500に増やしても、二乗平均粗さ $R_{RMS}$ が0.5nm、好ましくは0.25nmを超えない平坦性と単結晶に匹敵する結晶性が得られる。MgO(111)薄膜をパフア層として使用する場合、その膜厚は1nm~2000nm、好ましくは1nm~200nm程度が用いられるが、本発明の方法で得られるMgO(111)薄膜は膜厚が大きくなっても次第に粗くなることはない。したがって、膜厚1nm~200nmで0.5nm、好ましくは0.25nmを超えない平坦性を実現できる。

#### 【0037】

また、RHEED強度振動が10周期程度まで観察できるので、10周期程度までは「Mg-O」層ユニット数(原子スケールの膜厚)をRHEED強度振動のモニタリングにより制御できることがわかった。RHEEDの電子ビームが照射されている部分の大きさはミリメートルのオーダーなので、その領域で、すなわち、極めてマクロなスケールで、膜表面が完全平坦(ゼロ次スポット強度最大)、膜表面に中途半端に原子が占められていく途中(強度が下がる)、再び原子が敷き詰められて完全平坦が回復(ゼロ次スポット強度再び最大に)を繰り返していることをRHEED強度振動は現している。そこで、RHEED強度振動を数え、所望の層数に対応する振動回数のところで堆積を終了することで膜の厚みをその場で正確に決められるので、磁気トンネル接合などでの障壁層をMgOで作製する際にこの方法を適用できる。

#### 【実施例1】

#### 【0038】

下記の工程によりMgO(111)薄膜を作製した。

1. 室温でYSZ(111)基板2枚にNiO薄膜をパルスレーザーアブレーション法で堆積した。YSZ(111)単結晶基板(信光社(株)製、10mm角)を大気中1300に加熱して、原子状平坦面を作製した。レーザーアブレーション用超高真空容器(パスカル(株)社製)に、このYSZ単結晶基板を設置して温度を室温に保持した。容器中に $1 \times 10^{-3}$ Paの酸素ガスを導入し、KrFエキシマレーザー光(ラムダ・フィジクス(株)社製レーザー発光装置)をNiO焼結体ターゲットに照射して、ターゲットから50mm離して対向させた基板上にNiO薄膜を堆積させた。膜厚は20nmとした。次に、NiO薄膜を堆積した基板を真空容器から取り出した。

#### 【0039】

2. NiO薄膜を堆積した基板2枚を、NiO薄膜部分を内側に挟み込む形で重ねて1300、大気中で1時間アニールした後、室温まで冷却した。2枚の基板をはがすと原子スケールで平坦な単結晶NiO(111)表面を基板に形成できたことが図2(b)に示す原子間力顕微鏡像と鏡像中のC~D間断面の粗さ(Height)プロファイルによって確認できた。 $R_{RMS}$ は、0.13nmであった。

#### 【0040】

3. 上記1と同じパルスレーザーアブレーション法でNiO(111)/YSZ(111)上にMgOを堆積した。ただし、基板温度を600、ターゲットをMgO単結晶とした。500 layers以下の厚みの膜の作製を繰り返し行い試料とした。

#### 【0041】

NiO(111)/YSZ(111)上にMgOを堆積させると、図2(c)に示す原子間力顕微鏡像でみて、原子スケールでのステップ-テラス構造が見え、鏡像中のE~F間断面の粗さ(Height)プロファイルを見るとステップ一段が「Mg-O」1ユニット分で7層となっていることが分かる。 $R_{RMS}$ は、0.17nmであった。図2(d)に示すように、「Mg-O」ユニットの堆積層数を増やして原子間力顕微鏡で見たところ、「Mg-O」10ユニット(10 layers)分、100ユニット(100 layers)分、500ユニット(500 layers)分と膜が厚くなっても $R_{RMS}$ は0.25nmを超えておらず、極めて小さい値に抑えられている。

#### 【0042】

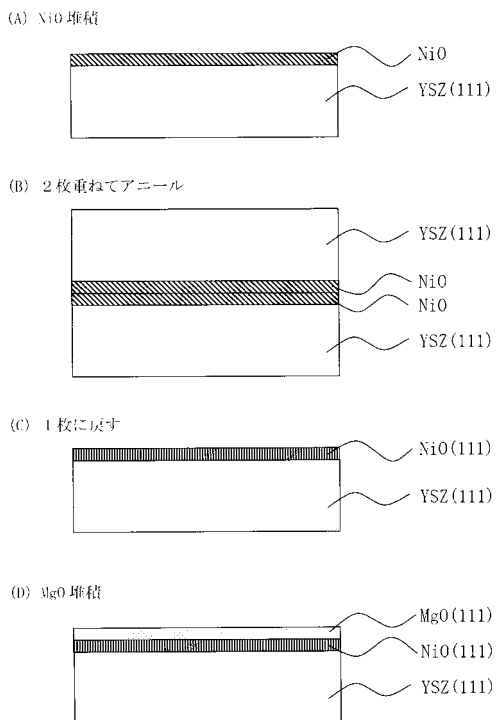
図3の(A)に示すように、このMgO(111)薄膜のRHEED像には鋭いKikuchi線が現われ、著しい表面平坦性と高い結晶性を反映している。図3の(B)は、MgO(111)堆積時のRHEED強度振動を示すグラフであり、横軸に堆積時間(秒)、縦軸にゼロ次スポットの強度(a.u.)を示す。挿入図中の「1ML:32s」は「Mg-O」1ユニット層に相当する周期が32秒であることを示す。図3の(A)に示すように、NiO(111)薄膜のRHEED像は鋭いKikuchi線が現れており、著しい表面平坦性と高い結晶性を反映している。さらに、図3の(B)に示すように、MgO(111)薄膜の堆積時のRHEEDのゼロ次スポットの強度には強度振動が観察され、「Mg-O」ユニットごとに層状成長していることが分かった。

【産業上の利用可能性】

【0043】

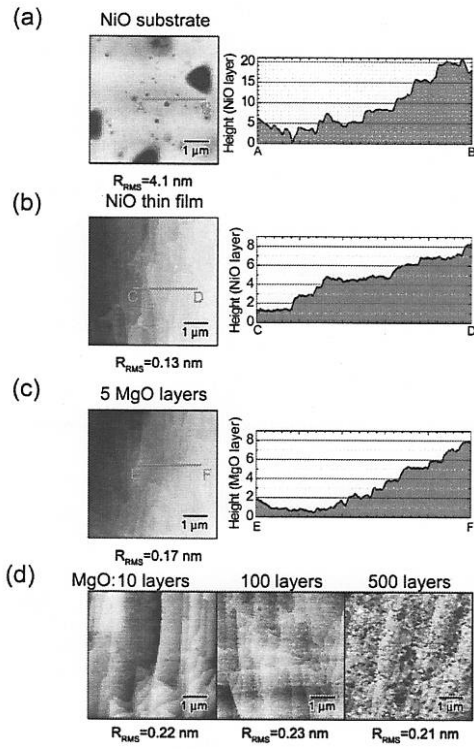
MgO(111)面は、結晶系が3方晶系、6方晶系薄膜の堆積用の基板として利用可能であり、本発明の方法で得られたMgO(111)面は特に他の薄膜の堆積用のバッファ層として、TFT(薄膜トランジスタ)、LD(レーザーダイオード)、LED(発光ダイオード)、MTJ(磁気トンネル接合)等のエレクトロニクスデバイス分野で利用される。また、MgO(111)面は、分子吸着、触媒反応に対して活性を持つことが知られているため、メタノールの低温での分解などの触媒材料としても期待できる。

【図1】

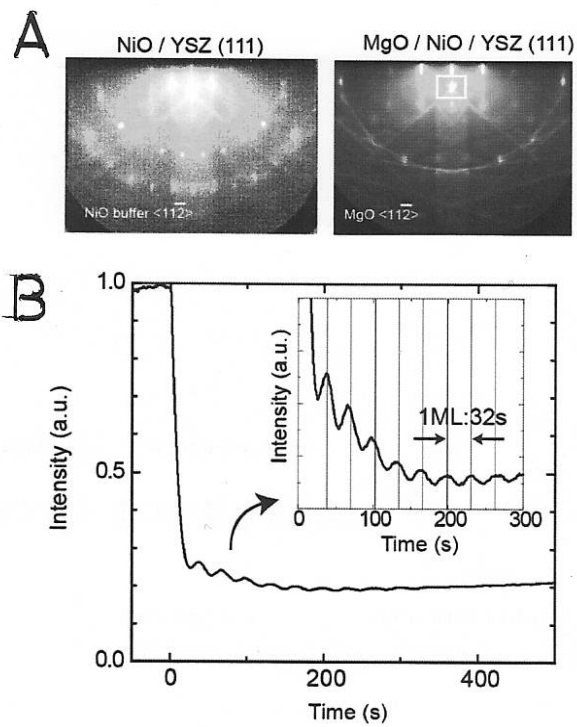




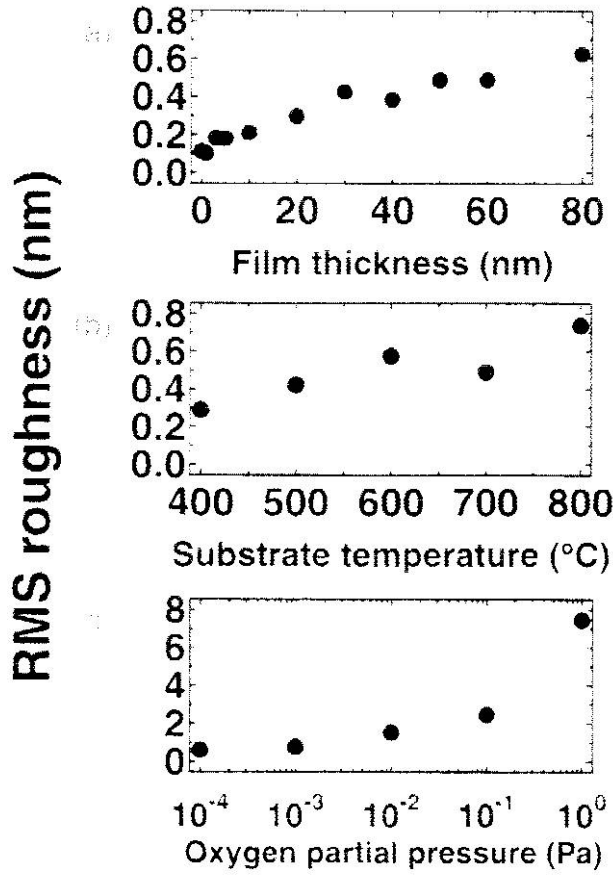
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 4G077 AA03 AB02 AB10 BB02 DA03 DA14 EA02 EA07 ED04 ED05  
ED06 EH01 HA02 HA06 HA12 SA04 SA07 SA08 SB03  
4K029 AA04 AA24 BA43 BB02 BB09 CA02 DA08 DB05 DB17 DB20  
FA07