

(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  
2014年4月3日(03.04.2014)



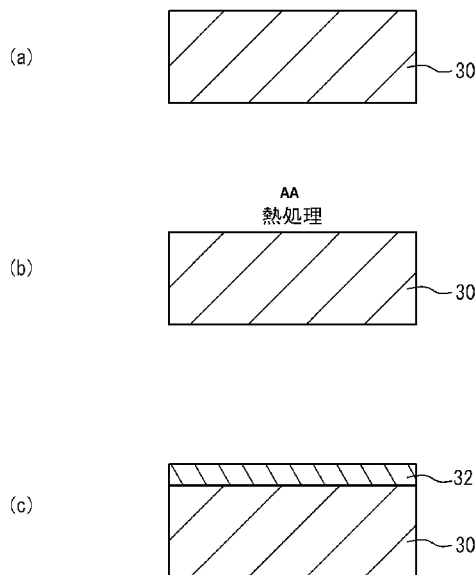
(10) 国際公開番号  
WO 2014/050187 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 21/316 (2006.01) H01L 21/324 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/061543
- (22) 国際出願日: 2013年4月18日(18.04.2013)
- (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 2012-217629 2012年9月28日(28.09.2012) 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: 鳥海 明(TORIUMI Akira); 〒1138656 東京都文京区本郷7丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 西村 知紀(NISHIMURA Tomonori); 〒1138656 東京都文京区本郷7丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 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), ユーラシア (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

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR PLANARIZING SURFACE OF GERMANIUM LAYER, AND SEMICONDUCTOR STRUCTURE AND PROCESS FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称: ゲルマニウム層の表面の平坦化方法並びに半導体構造およびその製造方法



AA Heat treatment

(57) Abstract: A method for planarizing a surface of a germanium layer, the method including a step in which the surface of a germanium layer is heat-treated in a reducing-gas or inert-gas atmosphere at a temperature of 400-850°C. Also provided is a process for producing a semiconductor structure, the process comprising a step in which a surface of a germanium layer is heat-treated in a reducing-gas or inert-gas atmosphere at a temperature of 400-850°C and a step in which a germanium oxide film is formed on the heat-treated surface of the germanium layer. Furthermore provided is a semiconductor structure equipped with a germanium layer, the surface of which has an RMS for a 1 μm × 1 μm area of 0.2 nm or less.

(57) 要約: ゲルマニウム層の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400°C以上かつ850°C以下において熱処理する工程を含むゲルマニウム層の表面の平坦化方法。ゲルマニウム層の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400°C以上かつ850°C以下において熱処理する工程と、前記熱処理された前記ゲルマニウム層の表面に、酸化ゲルマニウム膜を形成する工程と、を含む半導体構造の製造方法。表面の1 μm × 1 μm内のRMSが0.2 nm以下であるゲルマニウム層を具備する半導体構造。

WO 2014/050187 A1

(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))

## 明 細 書

### 発明の名称：

ゲルマニウム層の表面の平坦化方法並びに半導体構造およびその製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、ゲルマニウム層の表面を平坦化する方法並びに半導体構造およびその製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] ゲルマニウム (Ge) は、シリコン (Si) に比べ優れた電子物性を有する半導体である。例えば、ゲルマニウムを用いたMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) が開発されている。

[0003] 例えば、MOSFETにおいては、ゲルマニウム層の表面の平坦性が重要である。非特許文献1には、ゲルマニウムMOSFETにおいて、ゲルマニウム層の表面の粗さ（言い換えれば平坦性）がFET中のキャリアの移動度に影響することが記載されている。なお、以下では主に平坦性との用語を用いるが、平坦性がよいとは、表面の粗さが小さい意味として用いる。

### 先行技術文献

#### 非特許文献

[0004] 非特許文献1：Extended Abstract of the 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, Nagoya, 2011, pp925-926

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、ゲルマニウム層の表面の平坦性を原子層レベルで向上させることは容易ではない。本発明は、ゲルマニウム層表面が平坦化した半導体構造、またはゲルマニウム層の表面を平坦化することが可能な半導体構造の製造方法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

- [0006] 本発明は、ゲルマニウム層の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400℃以上かつ850℃以下において熱処理する工程を含むことを特徴とするゲルマニウム層の表面の平坦化方法である。本発明によれば、ゲルマニウム層の表面を平坦化することが可能な半導体構造の製造方法を提供することができる。
- [0007] 上記構成において、前記ゲルマニウム層は(111)面、(110)面または(100)面が主面である構成とすることができる。
- [0008] 上記構成において、前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は、還元性ガス雰囲気または不活性ガスで希釈された還元性ガス雰囲気である構成とすることができる。
- [0009] 上記構成において、前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は水素ガス雰囲気である構成とすることができる。
- [0010] 上記構成において、前記熱処理する工程は、前記ゲルマニウム層の表面の $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ 内のRMSを $0.3\text{nm}$ より小さく平坦化する工程を含む構成とすることができる。
- [0011] 上記構成において、前記熱処理する工程は、前記ゲルマニウム層の表面の $20\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}$ 内のRMSが $0.3\text{nm}$ より小さく平坦化する工程を含む構成とすることができる。
- [0012] 上記構成において、前記熱処理する工程により、前記ゲルマニウム層の表面に1原子層に相当するステップ・アンド・テラス構造が形成される構成とすることができる。
- [0013] 上記構成において、前記ゲルマニウム層は単結晶ゲルマニウム基板である構成とすることができる。
- [0014] 本発明は、ゲルマニウム層の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400℃以上かつ850℃以下において熱処理する工程と、前記熱処理された前記ゲルマニウム層の表面に、酸化ゲルマニウム膜を形成する工程と、を含むことを特徴とする半導体構造の製造方法である。
- [0015] 上記構成において、前記ゲルマニウム層は(111)面、(110)面ま

たは(100)面が主面である構成とすることができる。

[0016] 上記構成において、前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は、還元性ガス雰囲気または不活性ガスで希釈された還元性ガス雰囲気である構成とすることができる。

[0017] 上記構成において、前記酸化ゲルマニウム層上にゲート金属を形成する工程を含む構成とすることができる。

[0018] 上記構成において、前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は水素ガス雰囲気である構成とすることができる。

[0019] 上記構成において、前記ゲルマニウム層は単結晶ゲルマニウム基板である構成とすることができる。

[0020] 本発明は、表面の $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ 内のRMSが $0.2\text{nm}$ 以下であるゲルマニウム層を具備することを特徴とする半導体構造である。

[0021] 上記構成において、前記ゲルマニウム層は(111)面、(110)面または(100)面が主面である構成とすることができる。

[0022] 上記構成において、前記ゲルマニウム層は単結晶ゲルマニウム基板である構成とすることができる。

### 発明の効果

[0023] 本発明によれば、ゲルマニウム層表面が平坦化した半導体構造、またはゲルマニウム層の表面を平坦化することが可能な半導体構造の製造方法を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0024] [図1]図1は、酸化前のゲルマニウム基板のRMSに対する酸化ゲルマニウム膜を除去した後のRMSを示す図である。

[図2]図2(a)から図2(c)は、実験の方法を示す断面図である。

[図3]図3(a)から図3(f)は、(111)基板のAFM観察結果を示す図である。

[図4]図4は、基板面方向に対する基板膜厚方向の断面を示す図である。

[図5]図5(a)から図5(f)は、(110)基板のAFM観察結果を示す

図である。

[図6]図6 (a) および図6 (b) は、(100) 基板のAFM観察結果を示す図である。

[図7]図7 は、水素雰囲気熱処理温度に対する $1\mu\text{m}$ のRMSを示す図である。

[図8]図8 (a) から図8 (e) は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。

[図9]図9 (a) から図9 (c) は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である

[図10]図10 (a) および図10 (b) は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。

[図11]図11 (a) および図11 (b) は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。

[図12]図12 は、初期RMSに対する処理後RMSを示す図である。

[図13]図13 (a) から図13 (f) は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。

[図14]図14 は、浸漬時間に対する $1\mu\text{m}$ のRMSを示す図である。

[図15]図15 (a) から図15 (d) は、実験の方法を示す断面図である。

[図16]図16 (a) から図16 (f) は、図15 (b) における酸化ゲルマニウム膜のAFM観察結果を示す図である。

[図17]図17 は、酸化ゲルマニウム膜の膜厚に対する $1\mu\text{m}$ のRMSを示す図である。

[図18]図18 (a) から図18 (f) は、図15 (d) におけるゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。

[図19]図19 は、酸化ゲルマニウム膜の膜厚に対する $1\mu\text{m}$ のRMSを示す図である。

[図20]図20 (a) から図20 (c) は、実施例1に係る半導体構造の製造方法を示す断面図である。

[図21]図21は、実施例1の半導体構造を用いたトランジスタの断面図である。

### 発明を実施するための形態

[0025] シリコン層表面を平坦化する際に、シリコン層表面を酸化させ、酸化膜を除去することによりシリコン層表面を平坦化する方法がある。そこで、ゲルマニウム層の表面を酸化させ、酸化膜を除去することにより、ゲルマニウム層の表面を平坦化させる方法を検討した。それぞれ(100)および(111)面を主面とするゲルマニウム基板を準備した。ゲルマニウム基板表面を高温純水を用い処理することにより、意図的に凹凸を形成した。ゲルマニウム基板の表面のRMS (Root Mean Square: 二乗平均の平方根) を測定した。ゲルマニウム基板表面を、HPO (High Pressure Oxidation) 法を用い温度が550℃かつ時間が10分の熱酸化を行なった。次にLOA (Low Temperature O<sub>2</sub> Annealing) 法を用い、温度が400℃かつ時間が30分の熱酸化を行なった。これにより、膜厚が約19nmの酸化ゲルマニウム膜を形成した。その後、希フッ酸を用い酸化ゲルマニウム膜を除去した。その後、ゲルマニウム基板の表面のRMSを測定した。RMSの測定にはAFM (Atomic Force Microscope: 原子間力顕微鏡) 法を用いた。

[0026] 図1は、酸化前(意図的な凹凸形成後)のゲルマニウム基板のRMSに対する酸化ゲルマニウム膜を除去した後のRMS(1μm<sup>2</sup>)を示す図である。黒四角は、(100)面を主面とするゲルマニウム基板、白四角は、(111)面を主面とするゲルマニウム基板の測定結果である。ドットが測定点、縦横のバーは誤差を示す。図1に示すように、(100)および(111)面を主面とするゲルマニウム基板いずれにおいても、ゲルマニウム基板表面を酸化させた後、酸化ゲルマニウム膜を除去してもゲルマニウム基板表面の平坦性は向上しない。

[0027] 発明者らは、還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気において、熱処理することにより、ゲルマニウム基板の表面を平坦化できることを見出した。以下に発明者らの実験について説明する。

- [0028] 図2 (a) から図2 (c) は、実験の方法を示す断面図である。図2 (a) に示すように、単結晶ゲルマニウム基板10を準備する。図2 (b) に示すように、ゲルマニウム基板10を熱処理する。図2 (c) に示すように、ゲルマニウム基板10の表面の平坦性をAFM法を用い観察する。
- [0029] まず、ゲルマニウム基板の主面(表面)の結晶面による平坦性の違いについて実験した。図2 (a) において、結晶面は、(111)面、(110)面および(100)面を主面とするゲルマニウム基板10を準備した。これらのゲルマニウム基板10をそれぞれ(111)基板、(110)基板および(100)基板という。ゲルマニウム基板10は、ドーパントがGa(ガリウム)であり、ドーパント濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ から約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のp型である。図2 (b) において、ゲルマニウム基板10を水素( $\text{H}_2$ )ガス雰囲気(100%水素ガス雰囲気)、1気圧において、5分から15分間熱処理した。図2 (c) において、ゲルマニウム基板10の表面をAFM法を用い観察した。熱処理する前のゲルマニウム基板10の表面のAFM観察では、ステップ・アンド・テラス構造は観察されない。ステップ・アンド・テラス構造が観察された表面は平坦性が高いことを意味する。
- [0030] 図3 (a) から図3 (f) は、(111)基板のAFM観察結果を示す図である。図3 (a) から図3 (c) は、それぞれ500°C、650°Cおよび850°Cにおいて水素雰囲気中で熱処理した後の(111)基板の表面のAFM観察画像である。画像の範囲は $1 \mu\text{m} \square$ である。図3 (d) から図3 (f) は、それぞれ、図3 (a) から図3 (c) の一部領域における基板の面方向に対する基板膜厚方向の表面を示す図であり、断面に相当する図である。
- [0031] 図3 (a) から図3 (c) に示すように、熱処理温度が500°Cから850°Cにおいて、ステップ・アンド・テラス構造が観察される。図3 (d) から図3 (f) に示すように、ステップの高さは、約0.3 nmまたは約0.3 nmの2倍のステップとなっている。図4は、基板面内方向に対する基板膜厚方向の断面を示す図である。図4に示すように、ステップは階段状にな



っていることがわかる。ゲルマニウムはダイヤモンド構造をとり、その格子定数は $0.357\text{ nm}$ である。(111)面において、ダイヤモンド構造を構成する正四面体結合構造を単位とした原子一層の厚みは、 $0.357 \times 3^{-1/2}\text{ nm}$ であり、約 $0.23\text{ nm}$ である。なお、この厚みは、Ge原子同士の結合の意味では結合2個分に相当する。よって、図3(d)から図3(f)および図4のように、ステップの高さはほぼ1原子層に対応する。このように、(111)基板においては、水素雰囲気での熱処理温度が $500^\circ\text{C}$ から $850^\circ\text{C}$ において、ゲルマニウム基板10の表面にステップ・アンド・テラス構造が形成されている。すなわち、水素雰囲気における熱処理により(111)ゲルマニウム基板10の表面が平坦化できる。

[0032] 図5(a)から図5(f)は、(110)基板のAFM観察結果を示す図である。図5(a)から図5(c)は、それぞれ $500^\circ\text{C}$ 、 $600^\circ\text{C}$ および $800^\circ\text{C}$ において水素雰囲気中で熱処理した後の(110)基板の表面のAFM観察画像である。画像の範囲は $1\ \mu\text{m}^2$ である。図5(d)から図5(f)は、それぞれ、図5(a)から図5(c)の一部領域における基板面内方向に対する基板膜厚方向の表面を示す図であり、断面に相当する図である。図5(a)から図5(c)に示すように、熱処理温度が $500^\circ\text{C}$ から $800^\circ\text{C}$ において、ステップ・アンド・テラス構造が観察される。図5(d)から図5(f)に示すように、ステップ構造が観察できる。このように、(110)基板においては、水素雰囲気での熱処理温度が $500^\circ\text{C}$ から $800^\circ\text{C}$ において、ゲルマニウム基板10の表面にステップ・アンド・テラス構造が形成されている。すなわち、水素雰囲気における熱処理により(110)基板の表面が平坦化できる。

[0033] 図6(a)および図6(b)は、(100)基板のAFM観察結果を示す図である。図6(a)は、 $850^\circ\text{C}$ において水素雰囲気中で熱処理した後の(100)基板の表面のAFM観察画像である。画像の範囲は $1.5\ \mu\text{m}^2$ である。図6(b)は、図6(a)の白実線における基板面方向に対する基板膜厚方向の表面を示す図であり、断面に相当する図である。図6(a)に

示すように、ステップ・アンド・テラス構造が観察される。図6 (b) に示すように、高さが約0.14 nmのステップ構造が観察される。このように、(100) 基板においても、水素雰囲気での熱処理を行なうことによりステップ・アンド・テラス構造が形成される。

[0034] 図7は、水素雰囲気熱処理温度に対する1  $\mu\text{m}$  平方のRMSを示す図である。ドットは測定点、線は近似線である。なお、水素雰囲気において熱処理する前の基板のRMSは、0.3 nm程度である。図7を参照し、(111) および(110) 基板は、500°Cから850°Cの50°C刻みの全ての温度においてステップ・アンド・テラス構造が観測された。(100) 基板において、黒丸はステップ・アンド・テラス構造が観測されたことを示し、白丸はステップ・アンド・テラス構造が観測されないことを示す。(100) 基板において、熱処理温度が700°C以上の場合、ステップ・アンド・テラス構造が観測される。(111)、(110) および(100) 基板において、500°Cから850°Cの温度範囲において基板表面のRMSを約0.3 nmより小さくすることができる。RMSは0.25 nm以下が好ましく、0.20 nm以下がより好ましい。(110) 基板においては、500°Cから850°Cの温度範囲でRMSは0.2 nm以下である。(111) 基板においては、550°Cから750°Cの温度範囲でRMSは0.2 nm以下である。(100) 基板においては、700°C以上の温度範囲でRMSは0.2 nm以下である。なお、熱処理温度が400°C以上において、平坦化の効果があると考えられる。

[0035] 次に、熱処理の雰囲気による平坦性の違いについて実験した。(111) 基板を用い水素ガスおよび窒素( $\text{N}_2$ ) ガス雰囲気での熱処理を行なった。熱処理温度は750°Cとした。図8 (a) から図8 (e) は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。図8 (a) および図8 (b) は、それぞれ水素ガスおよび窒素ガス雰囲気中で熱処理した後の(111) 基板の表面のAFM観察画像である。画像の範囲は1  $\mu\text{m}$  平方である。図8 (c) は、図8 (b) の一部領域における基板面方向に対する基板膜厚方向の表面を示す

図であり、断面に相当する図である。図8 (d) および図8 (f) は、それぞれ水素ガスおよび窒素ガス雰囲気中で熱処理した後の(111)基板の表面のAFM観察画像(斜視図)である。画像の範囲は $20\mu\text{m}^2$ である。

[0036] 図8 (b) および図8 (c) を参照し、窒素雰囲気において熱処理した場合において、ステップ・アンド・テラス構造が観察される。水素雰囲気における $1\mu\text{m}^2$ のRMSは約 $0.2\text{nm}$ であるのに対し、窒素雰囲気における $1\mu\text{m}^2$ のRMSは約 $0.2\text{nm}$ から $0.5\text{nm}$ である。

[0037] このように、熱処理は水素ガス雰囲気だけでなく窒素ガス等の不活性ガス雰囲気でもゲルマニウム基板表面は平坦化する。これは、ゲルマニウム基板10の表面を酸化させずに熱処理することにより、ゲルマニウム基板10の表面が平坦化することを示している。すなわち、熱処理する際のガスは還元性ガスまたは不活性ガスであればよい。

[0038] 図8 (d) および図8 (e) を参照し、水素ガス雰囲気においては、 $20\mu\text{m}^2$ でも平坦性が確保されRMSは約 $0.2\text{nm}$ である。一方、窒素ガス雰囲気においては、 $20\mu\text{m}^2$ において平坦性が悪くなりRMSは約 $1\text{nm}$ である。このように、還元性ガスまたは不活性ガスの中でも特に水素ガスを熱処理雰囲気とすることにより、広範囲における平坦性を確保することができる。

[0039] 次に、水素ガス(50体積%)を窒素ガス(50体積%)で希釈させたガスを用い熱処理をおこなった。(111)基板を用い、熱処理温度は $650^\circ\text{C}$ 、熱処理時間は15分とした。図9 (a) から図9 (c) は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。図9 (a) および図9 (b) は、熱処理した後の(111)基板の表面のAFM観察画像であり、それぞれ画像の範囲は $1\mu\text{m}^2$ および $10\mu\text{m}^2$ である。図9 (c) は、図9 (a) の一部領域における基板面方向に対する基板膜厚方向の表面を示す図であり、断面に相当する図である。

[0040] 図9 (a) および図9 (c) を参照し、水素ガスおよび窒素ガスの混合ガスにおいても高さが約 $0.3\text{nm}$ のステップ・アンド・テラス構造が観察さ

れる。このように、還元性ガスは不活性ガスにより希釈されたガスでもよい。

[0041] 次に、ゲルマニウム基板10のベンダーによる平坦性の違いについて実験した。ベンダーの異なる(111)基板を用い水素ガス雰囲気での熱処理を行った。熱処理温度は700℃とした。図10(a)および図10(b)は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。画像の範囲は1μm<sup>2</sup>である。図10(a)および図10(b)は、それぞれベンダーAおよびベンダーBの(111)基板の観察結果である。ベンダーAおよびベンダーBの基板は、主面の法線方向が<111>からオフするオフ角が異なり、ベンダーAおよびBのオフ角はそれぞれ0.3°および0.1°である。

[0042] 図10(a)および図10(b)を参照し、ベンダーAおよびBいずれにおいてもステップ・アンド・テラス構造が観察される。以上のように、ゲルマニウム基板のベンダーが異なっても水素ガス雰囲気での熱処理によりゲルマニウム基板表面の平坦性が向上する。また、ゲルマニウム基板10の主面の法線方向が<111>方向から数°以内でオフしていても水素ガス雰囲気での熱処理によりゲルマニウム基板10表面の平坦性が向上する。

[0043] ベンダーBのオフ角が0.07°の(111)基板を用い水素ガス雰囲気での熱処理を行った。熱処理温度は650℃、熱処理時間は15分とした。図11(a)および図11(b)は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。図11(a)を参照し、300nm程度の幅を有するテラスが観察される。図11(b)は、図11(a)の300nm<sup>2</sup>の範囲Aを拡大した図である。図11(b)の範囲におけるRMSは0.03nmから0.05nmである。これは、AFMの測定精度程度である。このように、テラスにおいては原子レベルで平坦である。このように、オフ角を小さくすることにより、テラスの幅を大きくし、より平坦性を向上できる。オフ角は、0.1°以下が好ましい。

[0044] 図12は、初期RMS(1μm<sup>2</sup>)に対する処理後RMS(1μm<sup>2</sup>)を示す図である。図1と同様の方法を用い意図的に凹凸を形成したゲルマニウ

ム基板のRMSを初期RMSとした。図12を参照し、黒四角は(111)基板を水素ガス雰囲気において温度が650°Cの熱処理を行なう前後のRMSである。白四角はゲルマニウム基板を熱酸化し酸化ゲルマニウム膜を剥離する前後のRMSであり、図1の白四角と同じデータである。点線は近似曲線、バーは誤差を示す。

[0045] 酸化膜形成および除去によってもRMSは改善されない。一方、水素雰囲気における熱処理によりRMSが改善し、0.2nm以下となる。

[0046] 次に、熱処理後のウエット処理による平坦性の変化を調べた。ウエット処理としては純水(DIW)への浸漬、および希フッ酸(HF)への浸漬を行なった。(111)基板を水素ガス雰囲気において熱処理温度700°Cで10分間の熱処理を行なった。その後、ゲルマニウム基板10を純水または希フッ酸(HFが純水に対し約1体積%)に浸漬した。

[0047] 図13(a)から図13(f)は、ゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。図13(a)から図13(c)は、それぞれ熱処理直後、純水浸漬後および希フッ酸浸漬後のゲルマニウム基板10の表面のAFM観察画像である。ゲルマニウム基板10の純水または希フッ酸への浸漬時間は3分である。画像の範囲は1 $\mu$ m $\square$ である。図13(d)から図13(f)は、それぞれ図13(a)から図13(c)の一部領域における基板面方向に対する基板膜厚方向の表面を示す図であり、断面に相当する図である。図13(a)から図13(f)に示すように、熱処理後、純水または希フッ酸に浸漬してもゲルマニウム基板の表面にはステップ段差が約0.3nmのステップ・アンド・テラス構造が形成されている。

[0048] 図14は、浸漬時間に対する1 $\mu$ m $\square$ のRMSを示す図である。図14を参照し、純水または希フッ酸への浸漬時間を増やしてもRMSは約0.2nmでありほとんど変化しない。浸漬時間が1時間を越え15時間になると、希フッ酸ではRMSが悪化する。純水ではRMSがやや悪化する。純水または希フッ酸等の薬液への浸漬は、後処理および/または前処理等として半導体製造工程において用いられている。図14のように、平坦化されたゲルマ

ニウム基板10の表面は、これらの薬液処理を経ても平坦性が確保される。

[0049] 次に、ゲルマニウム基板上に酸化ゲルマニウム膜を形成し平坦性を調査した。図15(a)から図15(d)は、実験の方法を示す断面図である。図15(a)に示すように、図2(b)において、ゲルマニウム基板10の表面を平坦化した後、ゲルマニウム基板10上に酸化ゲルマニウム膜12を形成した。酸化ゲルマニウム膜12の形成は、ゲルマニウム基板10を酸素ガス雰囲気中で熱処理することにより行なった。図15(b)に示すように、酸化ゲルマニウム膜12の表面をAFM法により観察した。図15(c)に示すように、純水に5分間浸漬することにより、酸化ゲルマニウム膜12を剥離した。図15(d)に示すように、ゲルマニウム基板10表面をAFM法を用い観察した。この観察は、ゲルマニウム基板10と酸化ゲルマニウム膜12との界面の平坦性を評価していることに対応する。

[0050] 図2(b)における熱処理条件は、水素ガス雰囲気、熱処理温度が700℃、熱処理時間が10分である。図15(a)における酸化ゲルマニウム膜12の形成条件は以下である。

酸化条件A：酸化温度400℃、時間30分、膜厚2.4nm

酸化条件B：酸化温度450℃、時間5分、膜厚1.6nm

酸化条件C：酸化温度500℃、時間30秒、膜厚1.6nm

[0051] 図16(a)から図16(f)は、図15(b)における酸化ゲルマニウム膜のAFM観察結果を示す図である。図16(a)から図16(c)は、それぞれ酸化条件がAからCで形成した酸化ゲルマニウム膜12の表面のAFM観察画像である。画像の範囲は1 $\mu$ m $\square$ である。図16(d)から図16(f)は、それぞれ図16(a)から図16(c)の一部領域における基板面方向に対する基板膜厚方向の表面を示す図であり、断面に相当する図である。図16(a)から図16(f)に示すように、酸化条件Aにおいては、ステップ・アンド・テラス構造が観察され、ステップ段差も1原子層の0.3nmである。一方、酸化条件BおよびCにおいては、ステップ・アンド・テラス構造であるか否か不明瞭であり、ステップ段差も不明瞭である。以

上のように、少なくとも酸化条件Aにおいては、ステップ・アンド・テラス構造が観察された。

[0052] 図17は、酸化ゲルマニウム膜の膜厚に対する $1\mu\text{m}^2$ のRMSを示す図である。図17を参照し、酸化ゲルマニウム膜12の膜厚を厚くしても膜厚が $10\text{nm}$ までは、RMSは約 $0.2\text{nm}$ である。このように、酸化ゲルマニウム膜12の表面の平坦性は良好である。ゲルマニウム基板10上にゲート絶縁膜として酸化ゲルマニウム膜12を形成する場合、酸化ゲルマニウム膜12の表面の平坦性は重要である、図17のように、酸化ゲルマニウム膜12の表面の平坦性は、ゲルマニウム基板10の平坦性を維持できる。

[0053] 図18(a)から図18(f)は、図15(d)におけるゲルマニウム基板のAFM観察結果を示す図である。図18(a)から図18(c)は、それぞれ酸化条件がAからCで形成した酸化ゲルマニウム膜12の剥離後の表面のAFM観察画像である。画像の範囲は $1\mu\text{m}^2$ である。図18(d)から図18(f)は、それぞれ図18(a)から図18(c)の一部領域における基板面方向に対する基板膜厚方向の表面を示す図であり、断面に相当する図である。図18(a)から図18(f)に示すように、いずれの酸化条件においても、ステップ・アンド・テラス構造が観察され、ステップ段差も1原子層の約 $0.3\text{nm}$ である。

[0054] 図19は、酸化ゲルマニウム膜の膜厚に対する $1\mu\text{m}^2$ のRMSを示す図である。図19は、図17において作製したサンプルの酸化ゲルマニウム膜12を剥離して、ゲルマニウム基板10の表面のRMSを測定した図である。図19を参照し、酸化ゲルマニウム膜12を剥離した後のゲルマニウム基板10の表面のRMSは約 $0.2\text{nm}$ である。以上のように、ゲルマニウム基板10と酸化ゲルマニウム膜12との界面の平坦性は、酸化ゲルマニウム膜12を形成する前のゲルマニウム基板10の平坦性を維持している。ゲルマニウム基板10上にゲート絶縁膜として酸化ゲルマニウム膜12を形成する場合、ゲルマニウム基板10と酸化ゲルマニウム膜12との界面の平坦性は重要である。図19のように、ゲルマニウム基板10と酸化ゲルマニウム

膜12との界面の平坦性は、ゲルマニウム基板10の平坦性を維持できる。

[0055] 以下に、上記実験結果に基づく本発明の実施例について説明する。

### 実施例 1

[0056] 図20(a)から図20(c)は、実施例1に係る半導体構造の製造方法を示す断面図である。図20(a)に示すように、ゲルマニウム層30を準備する。ゲルマニウム層30は、単結晶ゲルマニウム基板でもよいし、基板(例えばシリコン基板)上に形成されたゲルマニウム膜でもよい。また、ゲルマニウム層30は、高純度ゲルマニウムでもよいが、不純物が含まれていてもよい。例えばn型またはp型ゲルマニウムでもよい。さらに、ゲルマニウム層30には、上記実験の効果が得られる程度にシリコンが含まれていてもよい。シリコンの組成比は、全体の10%程度以下であればよい。ゲルマニウム層30の主面は、いずれの面でもよく、例えば(100)面、(111)面または(110)面とすることができる。

[0057] 図20(b)に示すように、ゲルマニウム層30の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400℃以上かつ850℃以下において熱処理する。還元性ガスおよび不活性ガスは、ゲルマニウム層30の表面を酸化させないガスである。還元性ガスとしては、例えば水素ガスを用いることができる。不活性ガスとしては、例えば窒素ガス、ヘリウム(He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)またはラドン(Rn)等の第18族元素のガスを用いることができる。上記ガスの混合ガスでもよい。熱処理するガスには酸素はほとんど含まれないことが好ましい。熱処理のガス圧力は、1気圧または1気圧以外の圧力でもよい。

[0058] 実施例1によれば、ゲルマニウム層30の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400℃以上かつ850℃以下において熱処理する。これにより、図3(a)から図12において説明したように、ゲルマニウム層30の表面を平坦化できる。すなわち、ゲルマニウム層30の表面粗さを小さくできる。熱処理温度は、450℃以上が好ましく、500℃以上が



より好ましく、 $550^{\circ}\text{C}$ 以上がさらに好ましい。また、熱処理温度は、 $800^{\circ}\text{C}$ 以下が好ましく、 $750^{\circ}\text{C}$ 以下がより好ましく、 $700^{\circ}\text{C}$ 以下がさらに好ましい。

[0059] 図3(a)から図5(f)のように、ステップ・アンド・テラス構造が形成される程度に表面を平坦化するため、ゲルマニウム層30の主面は、(111)面、(110)面または(100)面であることが好ましい。また、図7に示したように、ゲルマニウム層30の主面は、(111)面、(110)面または(100)面の場合、ゲルマニウム層30の表面のRMSを改善させることができる。ここで、(111)面、(110)面または(100)面は、これらに等価な結晶面も含まれる。また、主面は、これらの面から数度程度オフしていてもよい。すなわち、主面の法線方向は $\langle 111 \rangle$ 方向、 $\langle 110 \rangle$ 方向または $\langle 100 \rangle$ 方向から数度以下、好ましくは1度以下の範囲で傾いていてもよい。

[0060] また、図7において説明したように、ゲルマニウム層30を熱処理することにより、ゲルマニウム層30の表面の $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 内のRMSを $0.3\text{nm}$ より小さく平坦化することができる。

[0061] さらに、図8(d)において説明したように、ゲルマニウム層30を熱処理することにより、ゲルマニウム層30の表面の $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 内のRMSを $0.3\text{nm}$ より小さく平坦化することができる。

[0062] さらに、ゲルマニウム層30を熱処理することにより、ゲルマニウム層30の表面に1原子層に相当するステップ・アンド・テラス構造が形成される程度に平坦化することができる。

[0063] 熱処理する際の還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は還元性ガスを含むガスを用い熱処理することが好ましい。これにより、さらに、還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は水素ガス雰囲気であることが好ましい。これにより、図8(a)から図8(e)のように、ゲルマニウム層30の表面の平坦性をより向上させることができる。

[0064] 図10(c)に示すように、熱処理されたゲルマニウム層30の表面に酸

化ゲルマニウム膜 32 を形成する。酸化ゲルマニウム膜 32 は、例えばゲルマニウム層 30 の表面を酸素ガス雰囲気中で熱酸化することにより形成する。熱酸化の温度は、例えば 400℃ 以上かつ 550℃ 以下である。好ましくは、420℃ 以上かつ 500℃ 以下である。酸化ゲルマニウム膜 32 をゲート絶縁膜として用いる場合は、酸化ゲルマニウム膜 32 の膜厚は、2 nm 以下が好ましく、1.5 nm 以下がより好ましく、1.0 nm 以下がさらに好ましい。

[0065] 図 16 (a) から図 19 において説明したように、ゲルマニウム層 30 の表面を平坦化した後に酸化ゲルマニウム膜 32 を形成することにより、酸化ゲルマニウム膜 32 の表面、および、ゲルマニウム層 30 と酸化ゲルマニウム膜 32 との界面を平坦化することができる。

[0066] 図 21 は、実施例 1 の半導体構造を用いたトランジスタの断面図である。ゲルマニウム層 30 上に酸化ゲルマニウム膜 32 を介しゲート電極 34 を形成する。酸化ゲルマニウム膜 32 の代わりにゲート絶縁膜として、高誘電率絶縁膜または酸化ゲルマニウム膜と高誘電率絶縁膜との積層膜を用いることができる。高誘電率絶縁膜としては、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウムまたは希土類金属酸化膜を用いることができる。ゲート電極 34 の両側のゲルマニウム層 30 内にソースまたはドレイン領域 36 を形成する。ゲルマニウム層 30 を p 型、ソースまたはドレイン領域 36 を n 型とする。ゲルマニウム層 30 を n 型、ソースまたはドレイン領域 36 を p 型としてもよい。図 21 のトランジスタのように、ゲルマニウム層 30 の表面を平坦化することにより、高性能な MOSFET を実現できる。

[0067] n チャネル FET においては、(111) 面を主面とするゲルマニウム層 30 を用いることにより性能を向上させることができる。p チャネル FET においては、(100) 面または (110) 面を主面とするゲルマニウム層 30 を用いることにより性能を向上できる。実施例 1 においては、(111) 面を主面とするゲルマニウム層 30 を用いることにより、ゲルマニウム層 30 の表面を平坦化でき、かつ n チャネル FET の性能を向上できる。一方

、（１００）面を主面とするゲルマニウム層３０を用いることにより、（１１１）面ほどではないがゲルマニウム層３０の表面を平坦化でき、かつｐチャンネルＦＥＴの性能を向上できる。

[0068] MOSFET以外の半導体装置に実施例１の半導体構造を適用することもできる。

[0069] 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、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

[0070]	１０	ゲルマニウム基板
	１２、３２	酸化ゲルマニウム膜
	３０	ゲルマニウム層
	３４	ゲート電極

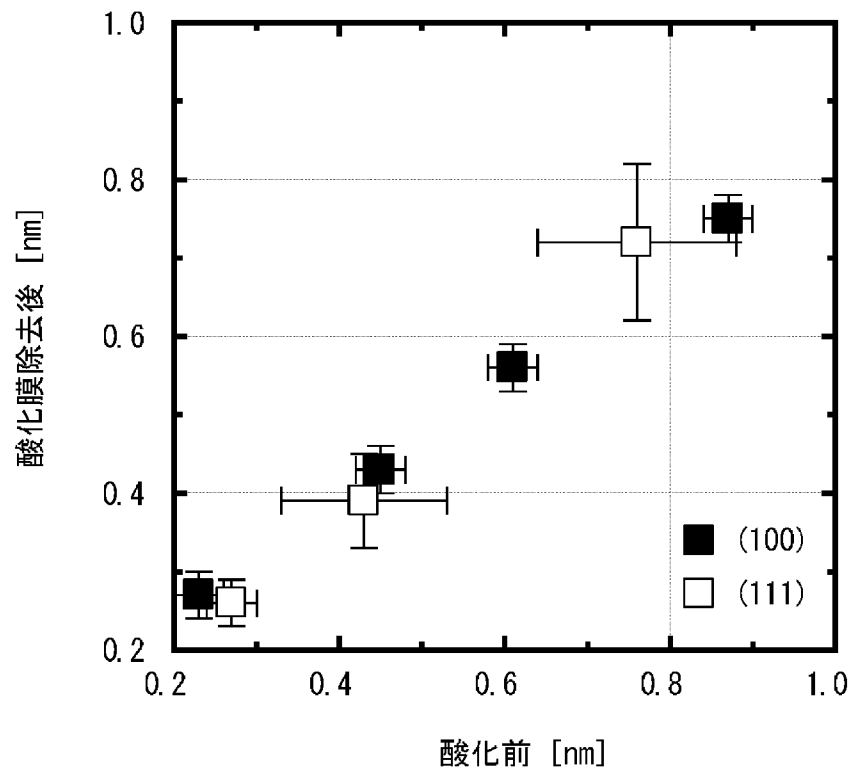
## 請求の範囲

- [請求項1] ゲルマニウム層の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、 $400^{\circ}\text{C}$ 以上かつ $850^{\circ}\text{C}$ 以下において熱処理する工程を含むことを特徴とするゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項2] 前記ゲルマニウム層は(111)面、(110)面または(100)面が主面であることを特徴とする請求項1記載のゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項3] 前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は、還元性ガス雰囲気または不活性ガスで希釈された還元性ガス雰囲気であることを特徴とする請求項1または2記載のゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項4] 前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は水素ガス雰囲気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ゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項5] 前記熱処理する工程は、前記ゲルマニウム層の表面の $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ 内のRMSを $0.3\text{nm}$ より小さく平坦化する工程を含む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ゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項6] 前記熱処理する工程は、前記ゲルマニウム層の表面の $20\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}$ 内のRMSが $0.3\text{nm}$ より小さく平坦化する工程を含む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ゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項7] 前記熱処理する工程により、前記ゲルマニウム層の表面に1原子層に相当するステップ・アンド・テラス構造が形成され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ゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項8] 前記ゲルマニウム層は単結晶ゲルマニウム基板であることを特徴とする請求項1から7のいずれか一項記載のゲルマニウム層の表面の平坦化方法。

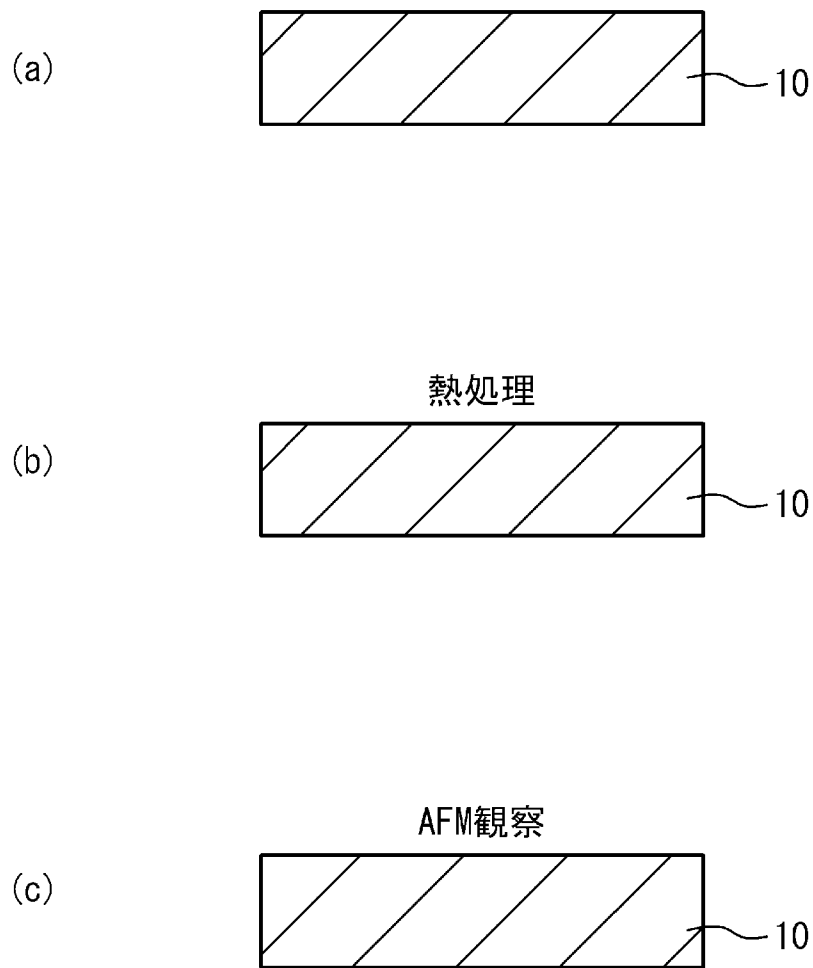
- [請求項9] 前記ゲルマニウム層は単結晶ゲルマニウム基板であることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項記載のゲルマニウム層の表面の平坦化方法。
- [請求項10] ゲルマニウム層の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400℃以上かつ850℃以下において熱処理する工程と、  
前記熱処理された前記ゲルマニウム層の表面に、酸化ゲルマニウム膜を形成する工程と、  
を含むことを特徴とする半導体構造の製造方法。
- [請求項11] 前記ゲルマニウム層は(111)面、(110)面または(100)面が主面であることを特徴とする請求項10記載の半導体構造の製造方法。
- [請求項12] 前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は、還元性ガス雰囲気または不活性ガスで希釈された還元性ガス雰囲気であることを特徴とする請求項10または11記載の半導体構造の製造方法。
- [請求項13] 前記酸化ゲルマニウム層上にゲート金属を形成する工程を含むことを特徴とする請求項10から12のいずれか一項記載の半導体構造の製造方法。
- [請求項14] 前記還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気は水素ガス雰囲気であることを特徴とする請求項10から13のいずれか一項記載の半導体構造の製造方法。
- [請求項15] 前記ゲルマニウム層は単結晶ゲルマニウム基板であることを特徴とする請求項10から14のいずれか一項記載の半導体構造の製造方法。
- [請求項16] 表面の1 $\mu$ m $\times$ 1 $\mu$ m内のRMSが0.2nm以下であるゲルマニウム層を具備することを特徴とする半導体構造。
- [請求項17] 前記ゲルマニウム層は(111)面、(110)面または(100)面が主面であることを特徴とする請求項16記載の半導体構造。
- [請求項18] 前記ゲルマニウム層は単結晶ゲルマニウム基板であることを特徴と

する請求項 1 6 または 1 7 記載の半導体構造。

[図1]

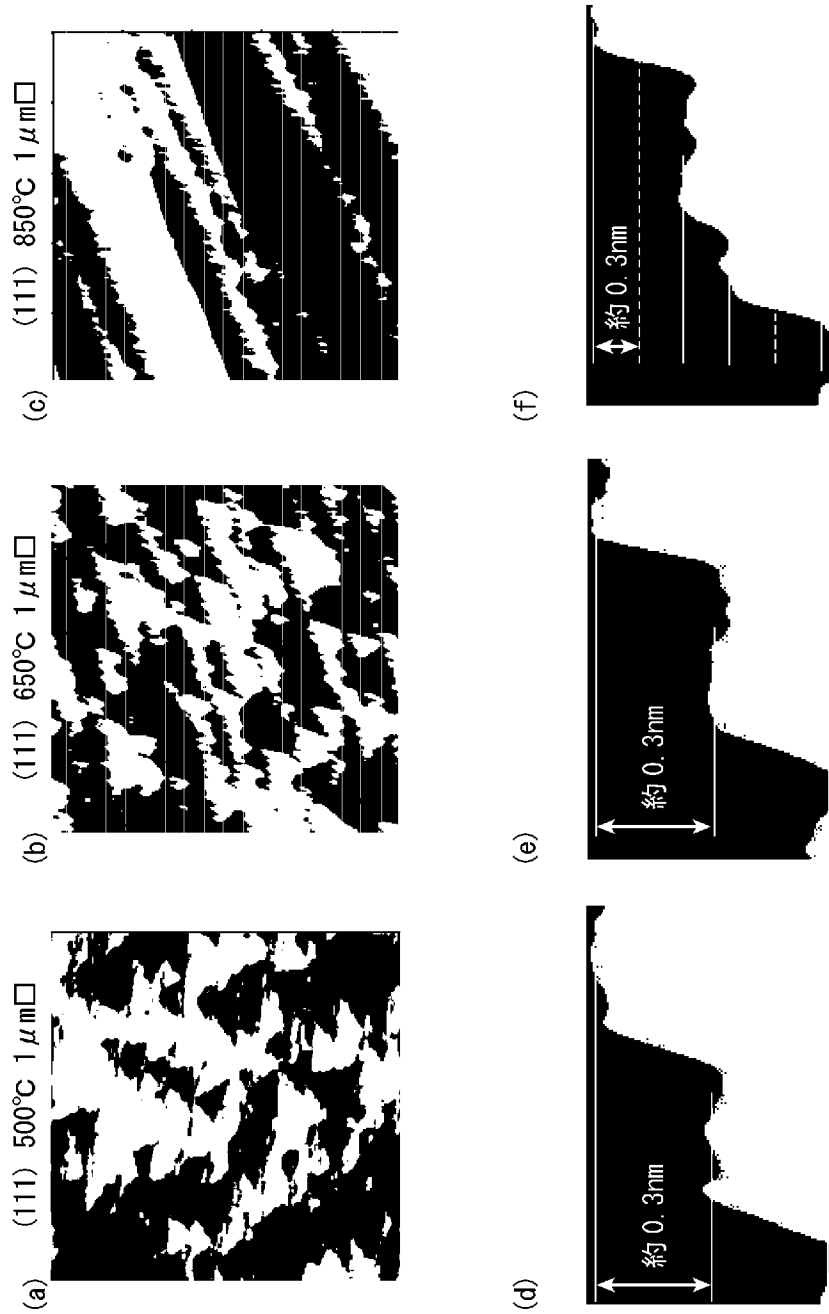


[図2]





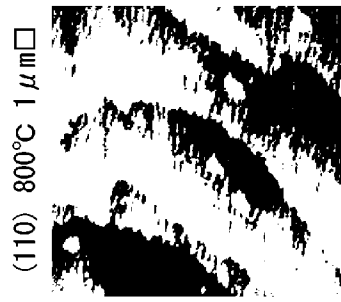
[図3]



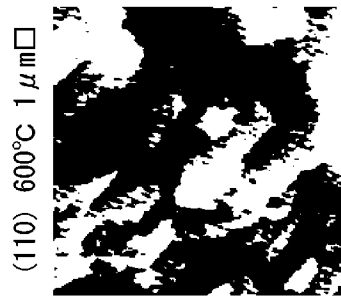
[図4]



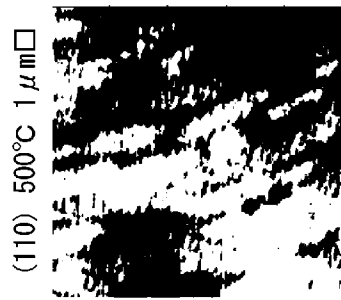
[図5]



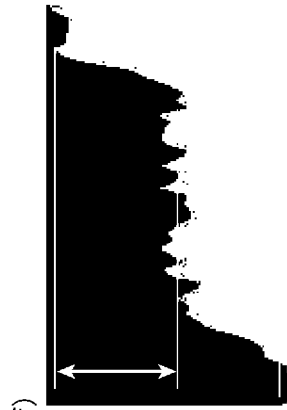
(g)



(b)



(a)



(f)



(e)



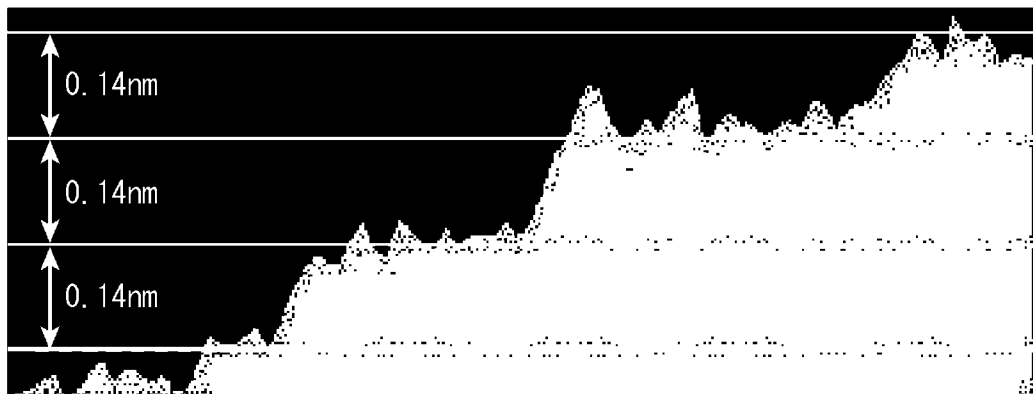
(d)

[図6]

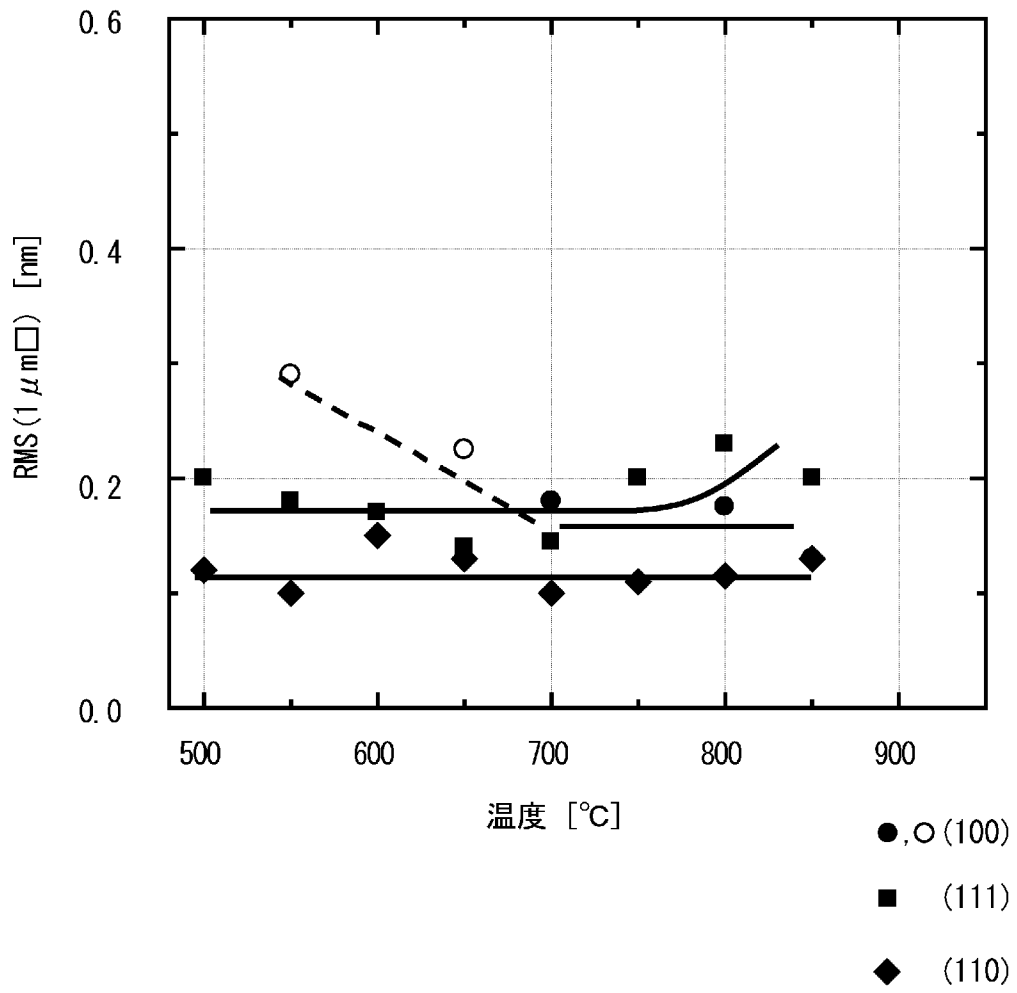
(a)

(100) 850°C 1.5  $\mu\text{m}$ □

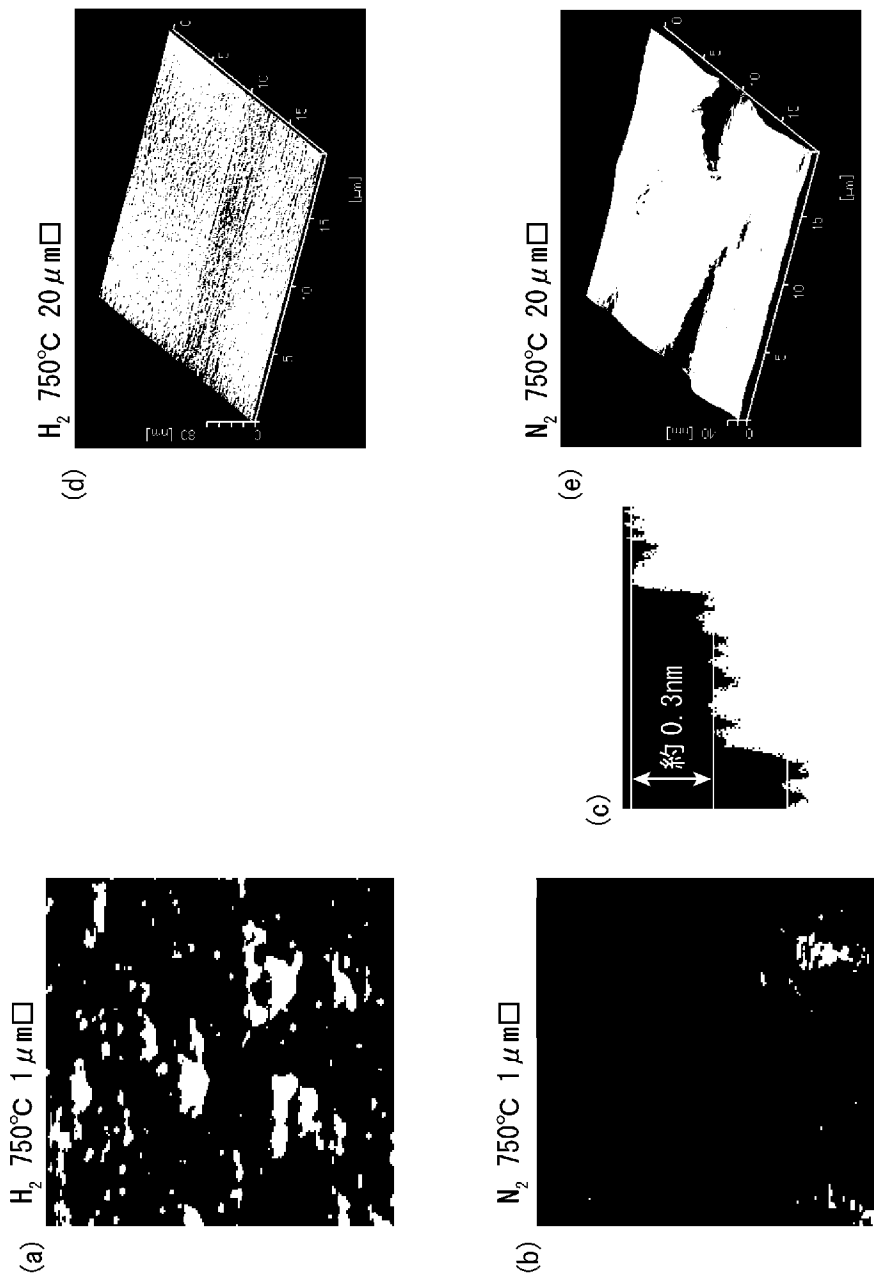
(b)



[図7]

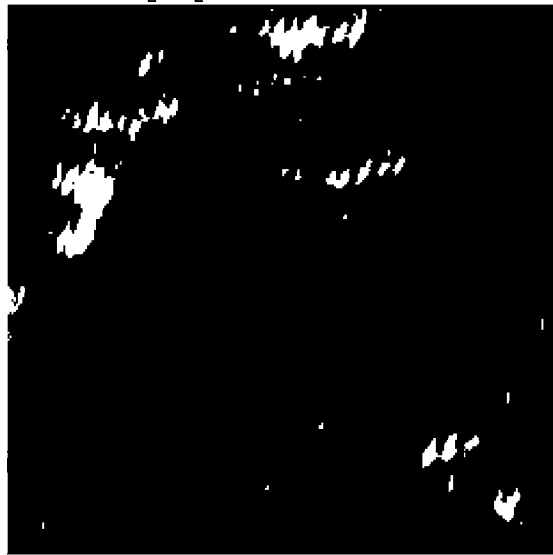


[図8]

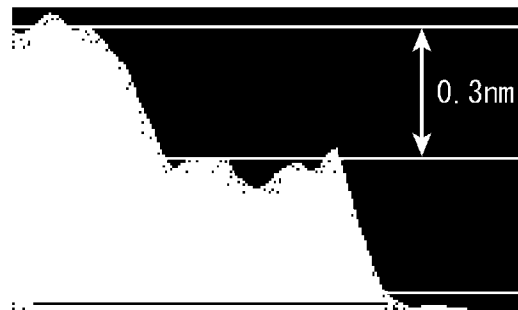


[図9]

(a)

 $H_2:N_2$  650°C 1  $\mu m$ □

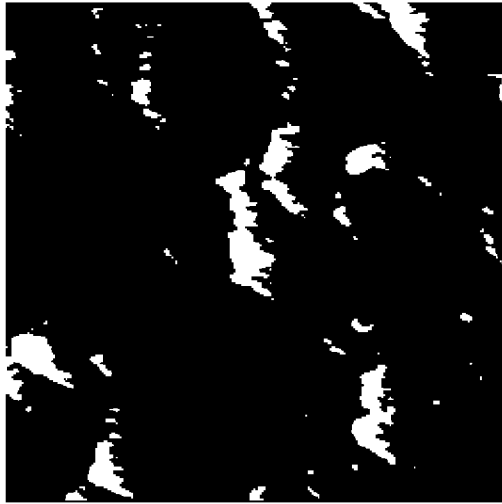
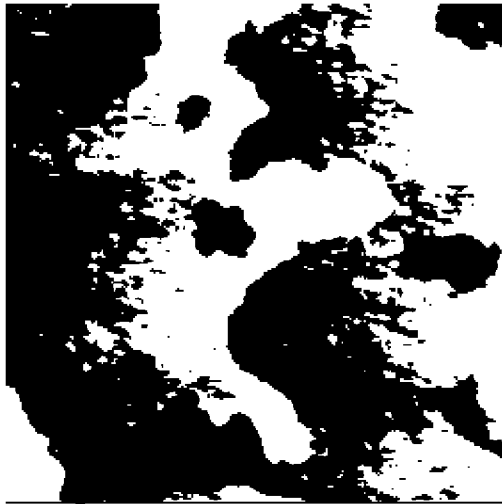
(b)



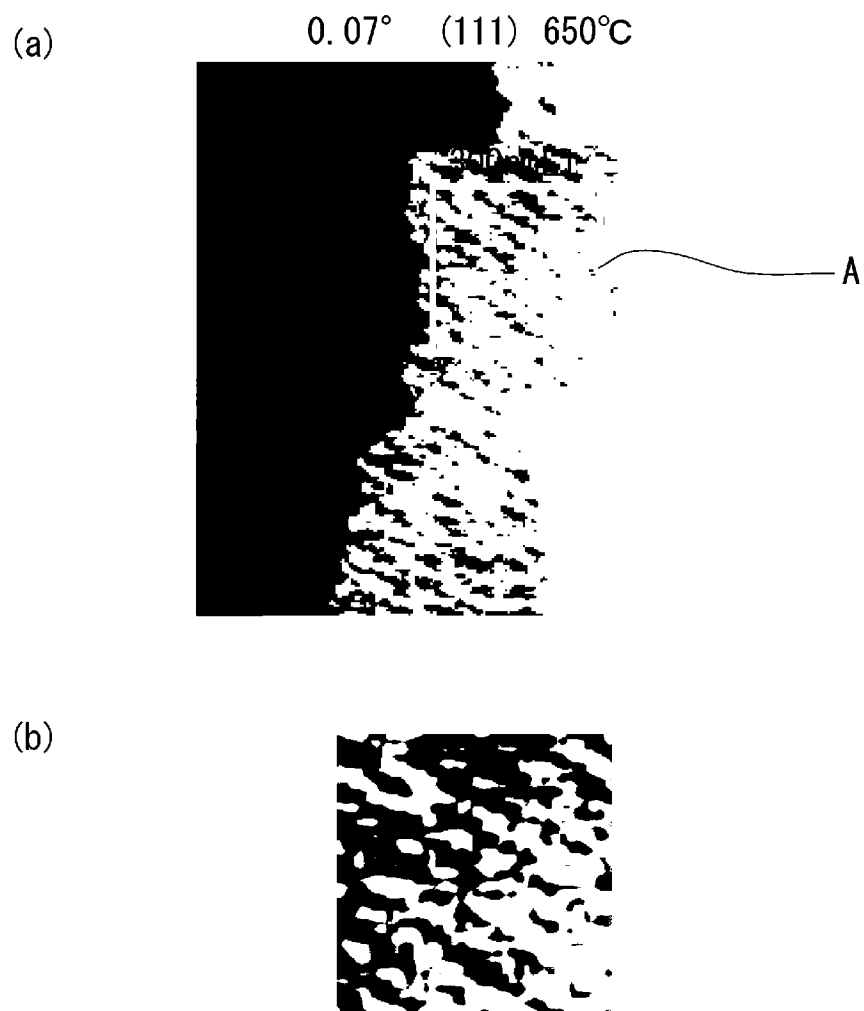
(c)

 $H_2:N_2$  650°C 10  $\mu m$ □

[図10]

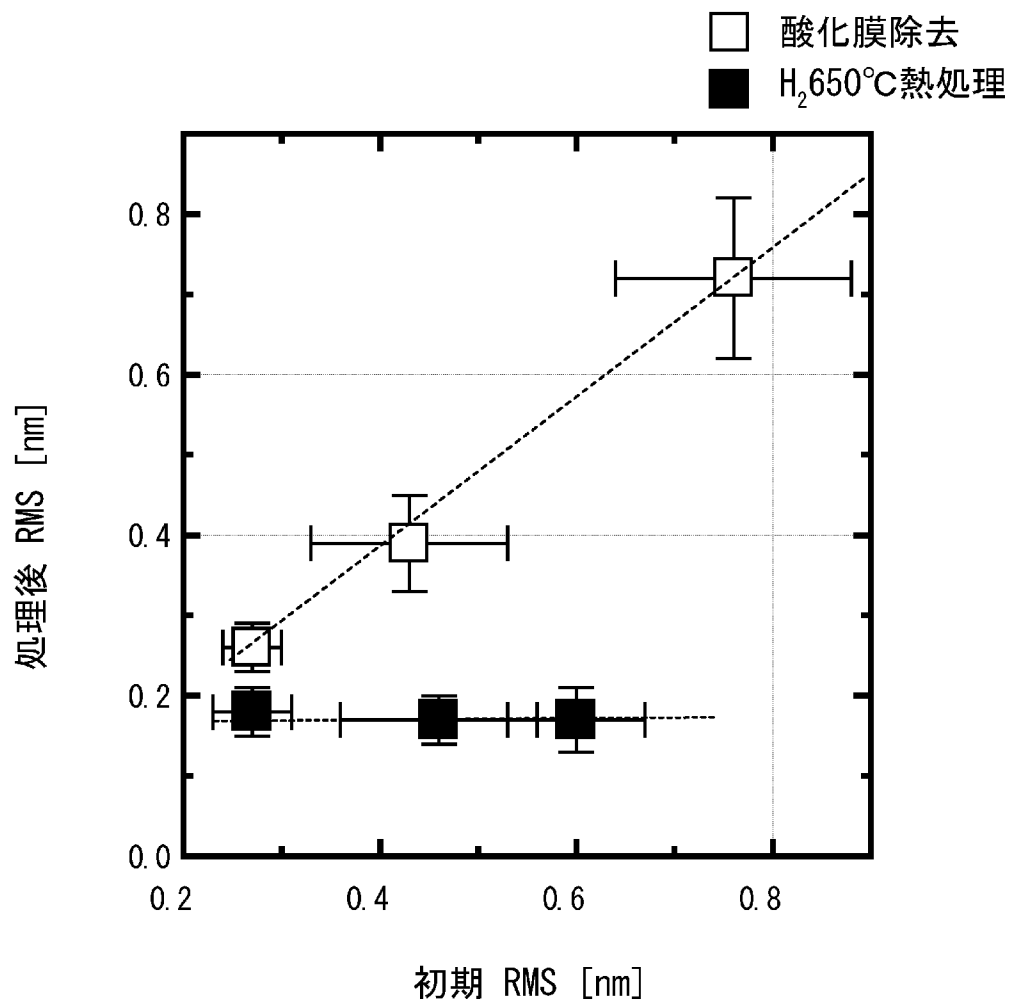
(a) ヘンタ-A 700°C 1 $\mu$ m $\square$ (b) ヘンタ-B 700°C 1 $\mu$ m $\square$ 

[図11]

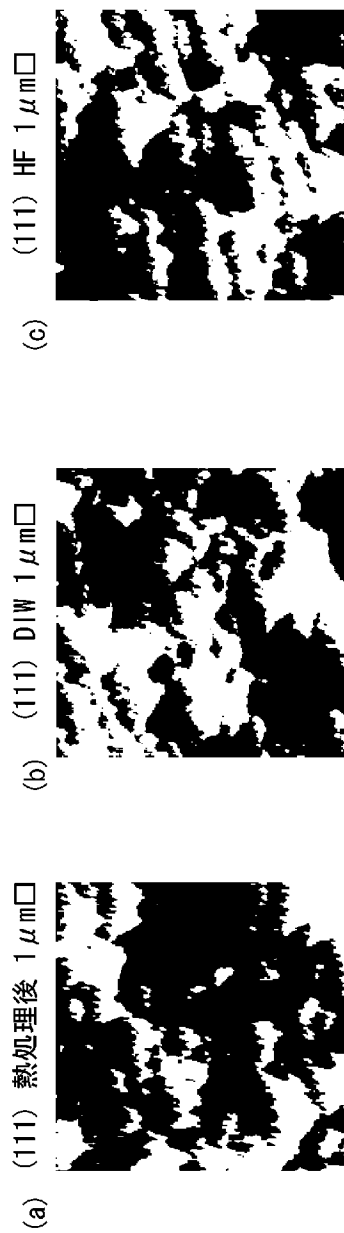




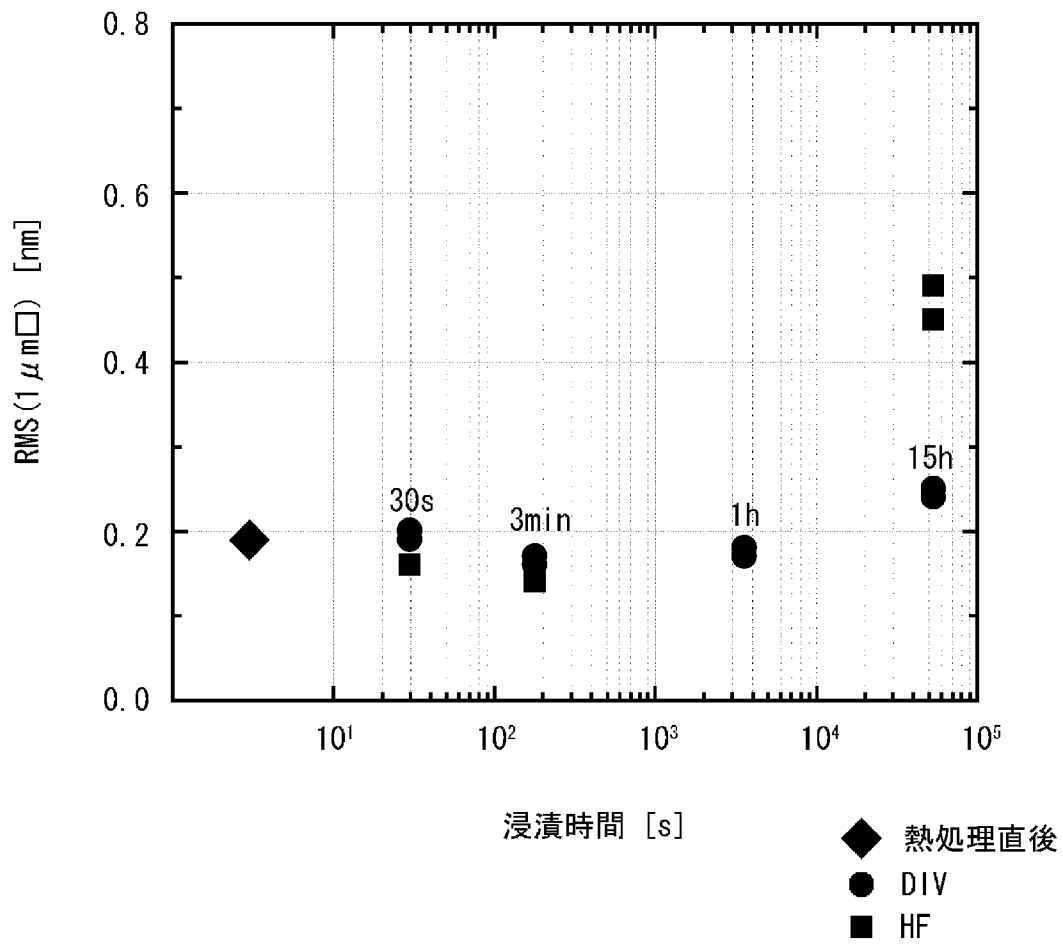
[図12]



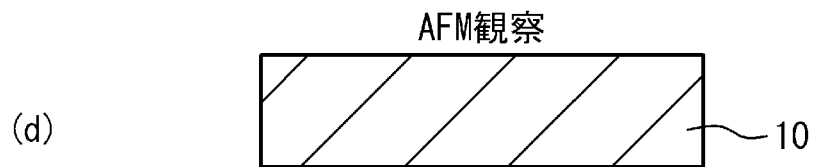
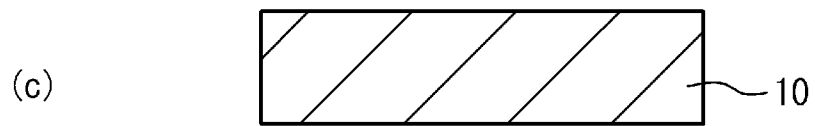
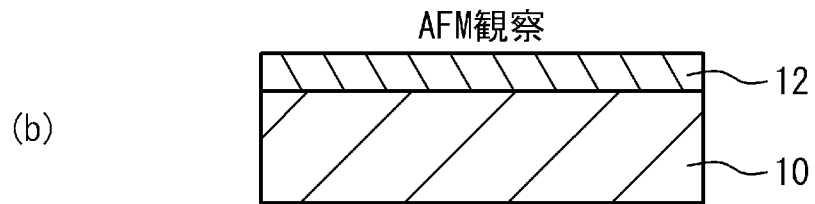
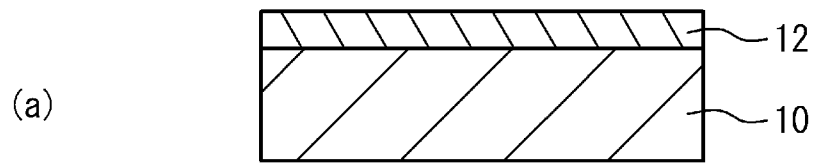
[図13]



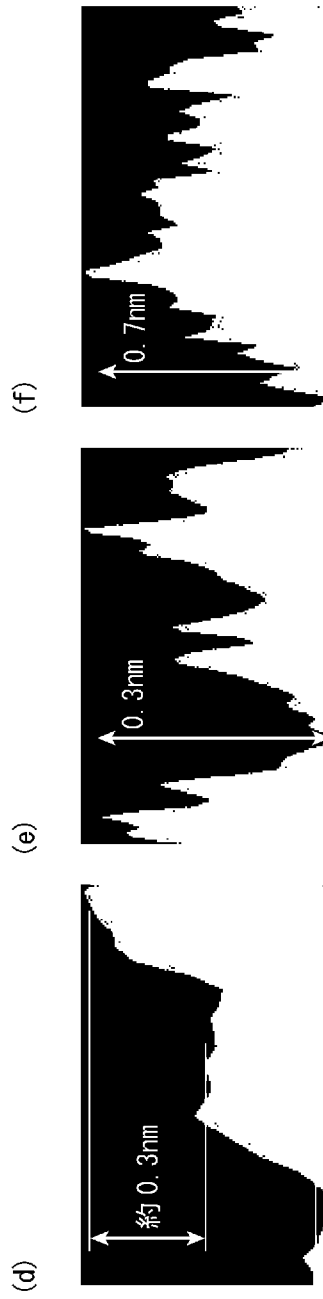
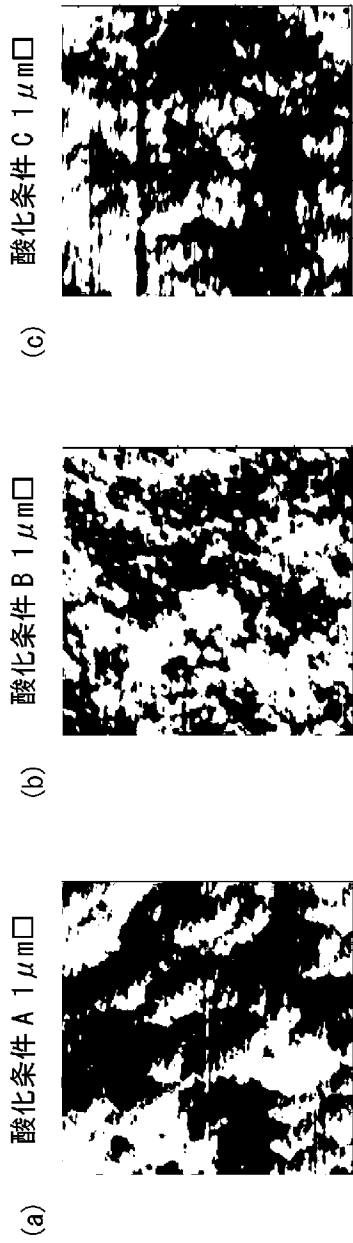
[図14]



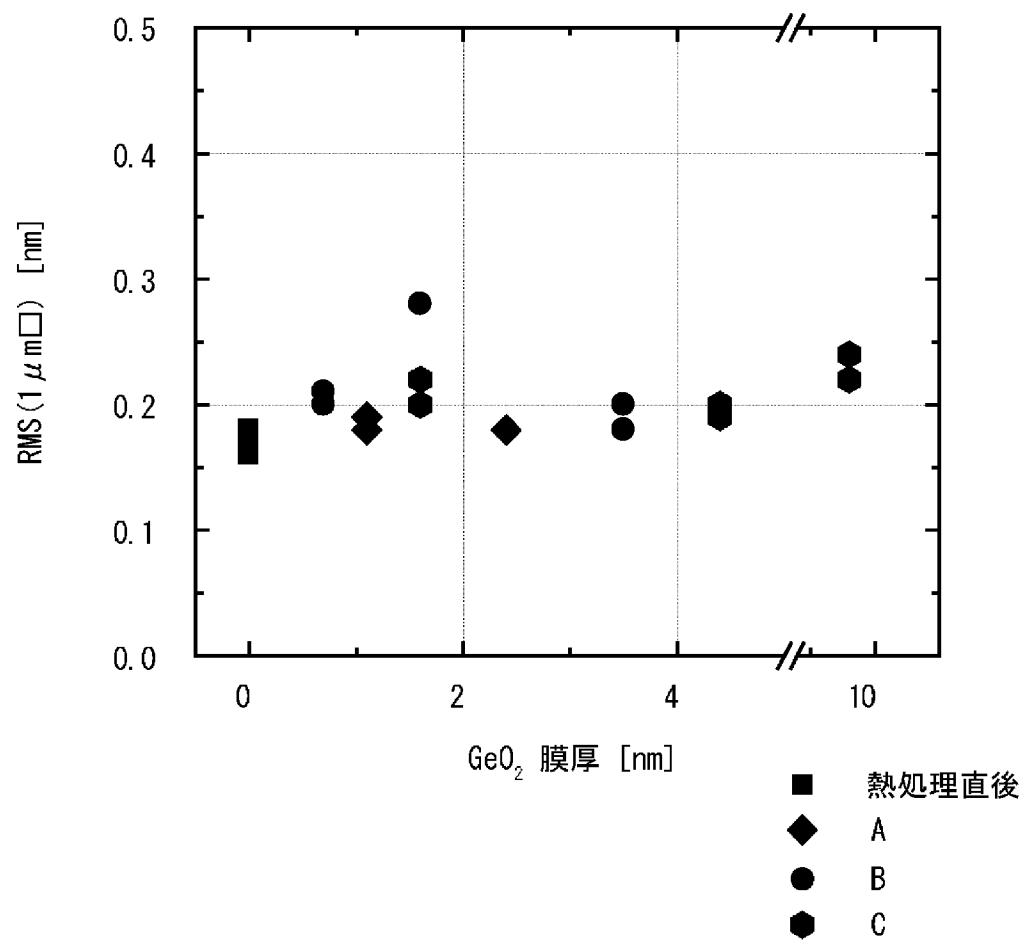
[図15]



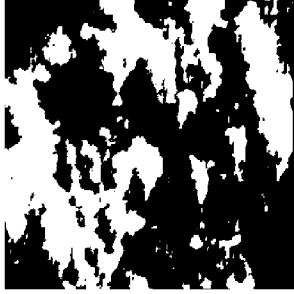
[図16]



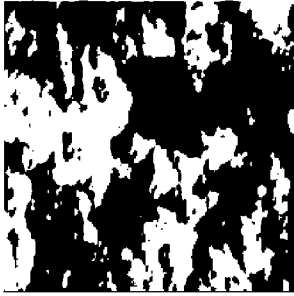
[図17]



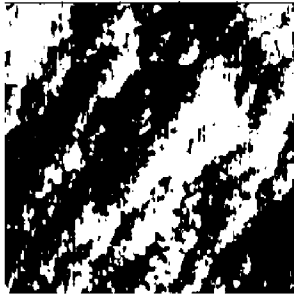
[図18]

酸化条件 C 1  $\mu\text{m}$ □

(c)

酸化条件 B 1  $\mu\text{m}$ □

(b)

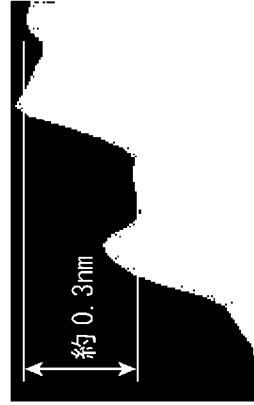
酸化条件 A 1  $\mu\text{m}$ □

(a)

(f)



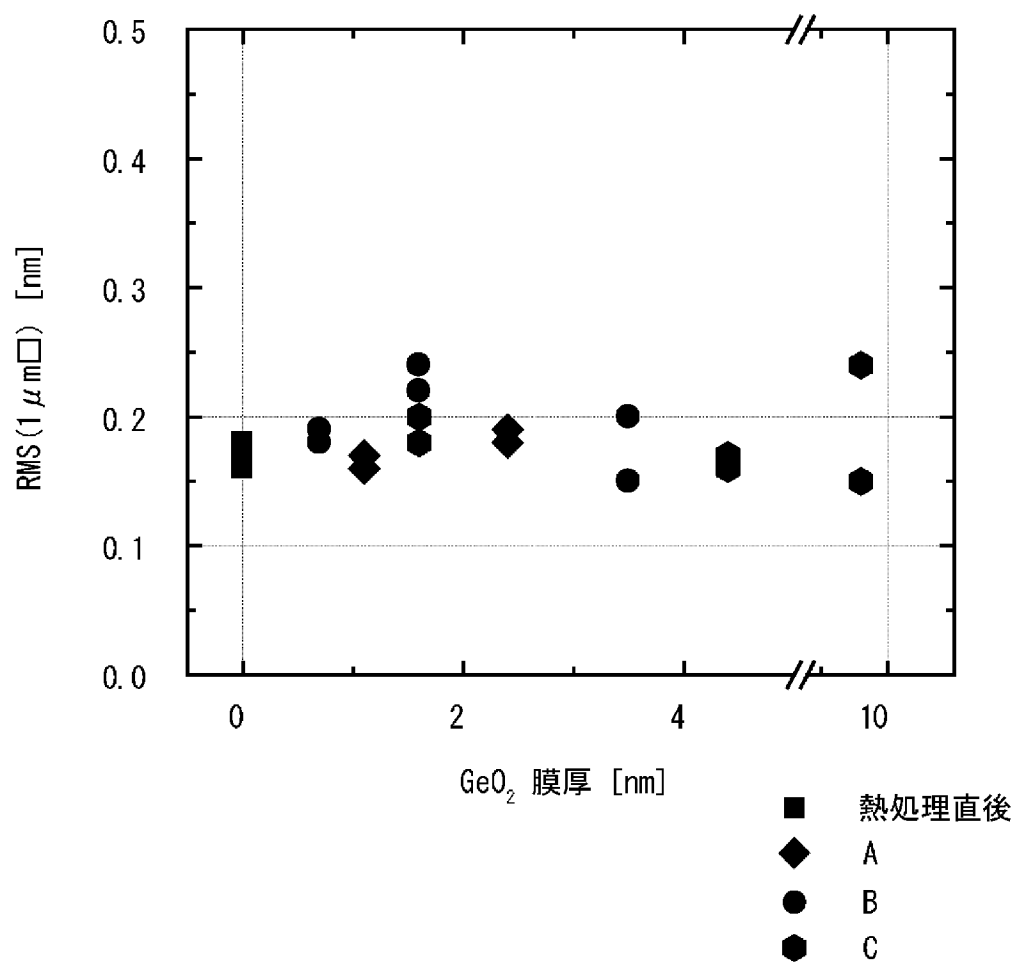
(e)



(d)

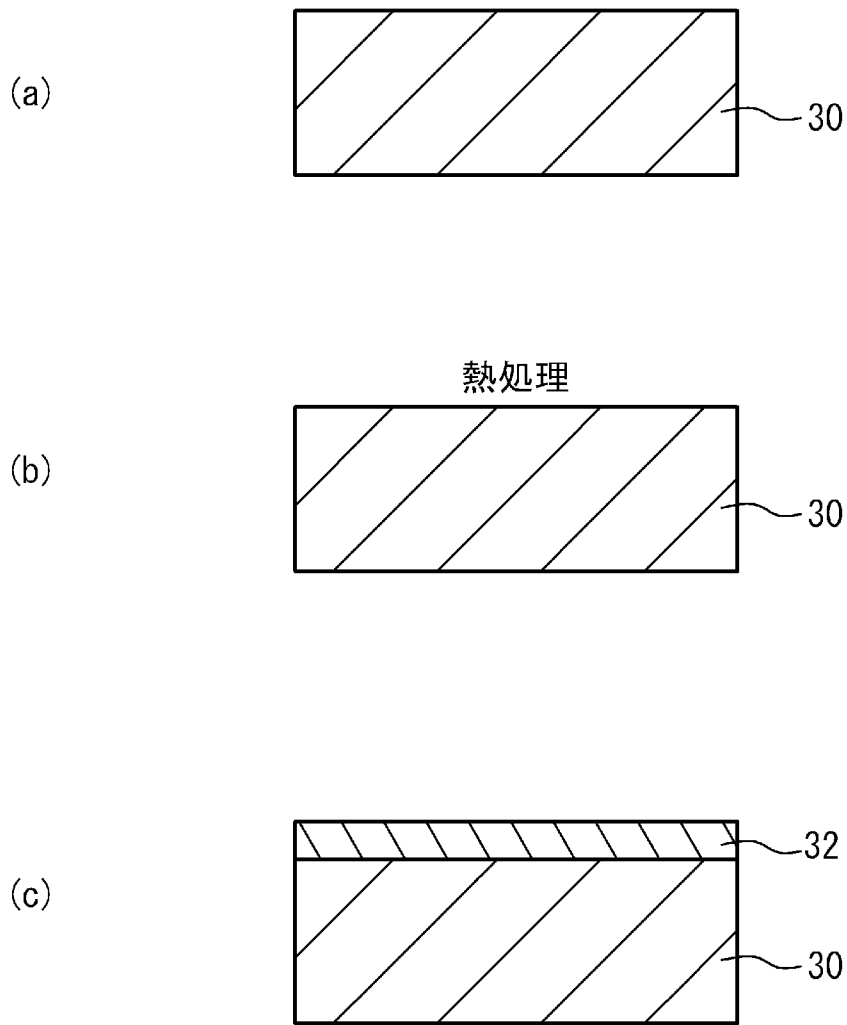


[図19]

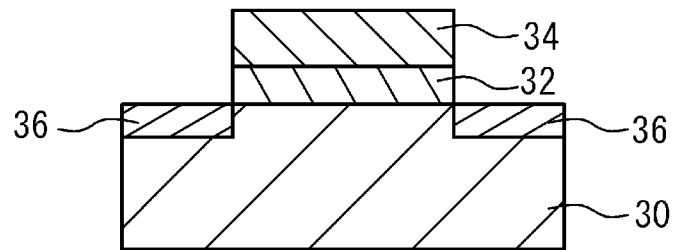




[図20]



[図21]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/061543

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/316(2006.01) i, H01L21/324(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)

H01L21/316, H01L21/324

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Kobayashi, S. et al., "Effect of isochronal hydrogen annealing on surface roughness and threading dislocation density of epitaxial Ge films grown on Si", Thin Solid Films, 2010.01.01, Vol. 518, No. 6 SUPPL. 1, pp. S136-S139	1-4
Y		5-15
Y	JP 2010-103296 A (Hiroshima University), 06 May 2010 (06.05.2010), paragraphs [0017] to [0051]; fig. 1 to 8 (Family: none)	5-15, 18
Y	Hartmann, J. M., et al., "Impact of the H <sub>2</sub> anneal on the structural and optical properties of thin and thick Ge layers on Si; Low temperature surface passivation of Ge by Si", Journal of Crystal Growth, 2010.02.01, Vol. 312, No. 4, pp. 532-541	7

 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

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
05 July, 2013 (05.07.13)Date of mailing of the international search report  
23 July, 2013 (23.07.13)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/061543

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Hoshi, Y., et al., "Formation of tensilely strained germanium-on-insulator", Applied Physics Express [online], 2011.12.19, Vol. 5, No. 1, pp. 015701-1 - 015701-3	16,17 18

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/061543

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Document 1 (Kobayashi, S. et al., "Effect of isochronal hydrogen annealing on surface roughness and threading dislocation density of epitaxial Ge films grown on Si", Thin Solid Films, 2010.01.01, Vol. 518, No. 6 SUPPL. 1, pp. S136-S139) teaches a method for planarizing the surface of a germanium layer, characterized by including the step of heat-treating the surface of a germanium layer in a reducing-gas or inert-gas atmosphere at a temperature of 400-850°C.

Consequently, the invention of claim 1 is taught in the document 1 and cannot be considered to be novel, and therefore, the invention of claim 1 does not have a special technical feature.

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01L21/316(2006.01)i, H01L21/324(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. H01L21/316, H01L21/324										
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 <table style="width:100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2013年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2013年	日本国実用新案登録公報	1996-2013年	日本国登録実用新案公報	1994-2013年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2013年									
日本国実用新案登録公報	1996-2013年									
日本国登録実用新案公報	1994-2013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)										
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 Y	Kobayashi, S. et al., "Effect of isochronal hydrogen annealing on surface roughness and threading dislocation density of epitaxial Ge films grown on Si", Thin Solid Films, 2010.01.01, Vol. 518, No. 6 SUPPL. 1, pp. S136-S139	1-4 5-15								
Y	JP 2010-103296 A (国立大学法人広島大学) 2010.05.06, 段落【0017】-【0051】, 第1-8図 (ファミリーなし)	5-15, 18								
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <span style="margin-left: 200px;"><input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</span>										
<table style="width:100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">                     * 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                 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">                     の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                      「&amp;」同一パテントファミリー文献                 </td> </tr> </table>			* 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	の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						
* 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	の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 05.07.2013	国際調査報告の発送日 23.07.2013									
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) 萩原 周治 電話番号 03-3581-1101 内線 3471	4R 9835								

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
Y	Hartmann, J. M., et al., "Impact of the H <sub>2</sub> anneal on the structural and optical properties of thin and thick Ge layers on Si; Low temperature surface passivation of Ge by Si", Journal of Crystal Growth, 2010.02.01, Vol. 312, No. 4, pp. 532-541	7
X	Hoshi, Y., et al., "Formation of tensilely strained germanium-on-insulator", Applied Physics Express [online], 2011.12.19, Vol. 5, No. 1, pp. 015701-1~015701-3	16, 17
Y		18

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求項 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
  
2.  請求項 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
  
3.  請求項 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

文献1（Kobayashi, S. et al., "Effect of isochronal hydrogen annealing on surface roughness and threading dislocation density of epitaxial Ge films grown on Si", Thin Solid Films, 2010.01.01, Vol. 518, No. 6 SUPPL. 1, pp. S136-S139）には、ゲルマニウム層の表面を還元性ガスまたは不活性ガス雰囲気中において、400℃以上かつ850℃以下において熱処理する工程を含むことを特徴とするゲルマニウム層の表面の平坦化方法が教示されている。

したがって、請求項1に係る発明は、文献1に教示されている発明であり、新規性が認められないから、特別な技術的特徴を有しない。

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。