

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7005604号
(P7005604)

(45)発行日 令和4年1月21日(2022.1.21)

(24)登録日 令和4年1月7日(2022.1.7)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/28 (2006.01)

H 0 1 L 21/28 3 0 1 R

H 0 1 L 21/20 (2006.01)

H 0 1 L 21/20

H 0 1 L 21/28 3 0 1 B

請求項の数 17 (全29頁)

(21)出願番号 特願2019-515652(P2019-515652)

(86)(22)出願日 平成29年9月21日(2017.9.21)

(65)公表番号 特表2019-535134(P2019-535134
A)

(43)公表日 令和1年12月5日(2019.12.5)

(86)国際出願番号 PCT/US2017/052803

(87)国際公開番号 WO2018/057797

(87)国際公開日 平成30年3月29日(2018.3.29)

審査請求日 令和2年8月28日(2020.8.28)

(31)優先権主張番号 62/398,416

(32)優先日 平成28年9月22日(2016.9.22)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者 502209109

アイキューイー ピーエルシー

I Q E p l c

イギリス国 シーエフ3 0エルダブリュ

ー カーディフ, セント メロンズ, パ

スカル クローズ

(74)代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

(74)代理人 100113413

弁理士 森下 夏樹

(74)代理人 100181674

弁理士 飯田 貴敏

(74)代理人 100181641

弁理士 石川 大輔

(74)代理人 230113332

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 統合されたエピタキシャル金属電極

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

層状構造であって、前記層状構造は、
基板と、

前記基板を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の希土類酸化物層と、
前記第1の希土類酸化物層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の金属層であって、前記第1の金属層は、前記第1の金属層の第1の部分と前記第1の金属層の第2の部分との間に第1の間隙空間を伴う非連続パターンを有する、第1の金属層と、
前記第1の間隙空間と前記第1の金属層の前記第1の部分および前記第2の部分との両方を含む前記第1の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の半導体層と
を備えている、層状構造。

【請求項2】

前記基板は、 $\langle 100 \rangle$ の結晶配向を有するSi、 $\langle 111 \rangle$ の結晶配向を有するSi、
GaAs、InP、Ga₂O₃、およびAl₂O₃のうちのいずれかを含む、請求項1に
記載の層状構造。

【請求項3】

前記第1の希土類酸化物層は、1～2の酸素／金属比を有する希土類酸化物を備えている、
請求項1または請求項2のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項4】

前記第1の金属層は、周期表の遷移金属基から選択される金属元素を含む、請求項1～3

のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 5】

前記第 1 の半導体層は、第 III 族、第 IV 族、第 V 族から選択される元素を含む、請求項 1～4 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 6】

前記基板は、シリコン (Si) を備え、

前記第 1 の希土類酸化物層は、1.5 の酸素／金属比を有するエルビウム酸化物 ($\text{ErO}_{1.5}$) を備え、

前記第 1 の金属層は、モリブデン (Mo) を備えている、請求項 1～5 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 7】

前記第 1 の半導体層は、 $\text{Al}_x\text{Sc}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) を備えている、請求項 5 に記載の層状構造。

【請求項 8】

前記基板は、Si を備えているとき、 $\langle 100 \rangle$ の結晶配向を有し、

前記第 1 の希土類酸化物層は、 $\text{ErO}_{1.5}$ を備えているとき、 $\langle 110 \rangle$ の結晶配向を有し、

前記第 1 の金属層は、Mo を備えているとき、 $\langle 211 \rangle$ の結晶配向を有する、請求項 6 に記載の層状構造。

【請求項 9】

前記第 1 の希土類酸化物層は、複数の希少金属酸化物成分を備え、前記複数の希少金属酸化物成分は、異なる金属元素または異なる酸素／金属比を有する、請求項 1～8 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 10】

前記第 1 の金属層は、第 1 の金属を備えている第 1 の副層と、第 2 の金属を備えている第 2 の副層とを含む、請求項 1～9 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 11】

前記第 1 の金属層は、第 1 の金属を備えている第 1 の領域と、第 2 の金属を備えている第 2 の領域とを含み、前記第 1 の領域は、勾配パターンにおいて、前記第 2 の領域に遷移する、請求項 1～10 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 12】

前記第 1 の金属層は、第 1 の金属を備えている第 1 の副層と、第 2 の金属を備えている第 2 の副層とを含み、前記第 1 の副層および前記第 2 の副層は、超格子構造において繰り返される、請求項 1～11 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 13】

前記第 1 の半導体層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の金属層と、

前記第 2 の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の半導体層と

をさらに備えている、請求項 1～12 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 14】

前記第 1 の金属層と前記第 1 の半導体層との組み合わせ、または、前記第 1 の半導体層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の金属層と前記第 2 の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の半導体層との組み合わせの最大 20 反復をさらに備えている、請求項 1～13 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 15】

前記第 1 の半導体層を覆って成長させられた第 2 の希土類酸化物層と、

前記第 2 の希土類酸化物層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の金属層と

をさらに備えている、請求項 1～14 のいずれか一項に記載の層状構造。

【請求項 16】

前記第 1 の金属層から前記第 1 の半導体層に遷移する中間層をさらに備えている、請求項 1～15 のいずれか一項に記載の層状構造。

10

20

30

40

50

【請求項 17】

前記第1の希土類酸化物層から前記第1の金属層に遷移する中間層をさらに備え、前記中間層は、前記第1の金属層からの金属成分と酸素とを備えている、請求項1～16のいずれか一項に記載の層状構造。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の引用)

本願は、米国仮出願第62／398,416号(2016年9月22日出願)の米国特許法§119(e)に基づく利益を主張し、上記出願は、その全体が参照により本明細書に引用される。本願は、同時係属の米国出願第_____号(_____出願、代理人事件番号111848-0016-101)に関連し、上記出願は、その全体が参照により本明細書に引用される。

【0002】

(使用の分野)

本用途は、半導体設計に関し、より具体的には、エピタキシャル金属が下側エピタキシャル酸化物と上側エピタキシャル半導体との間に導入される統合されたエピタキシャル金属電極のための層状構造に関する。

【背景技術】

【0003】

エピタキシ、エピタキシャル成長、およびエピタキシャル堆積は、結晶基板上の結晶層の成長または堆積を指す。結晶層は、エピタキシャル層と称される。結晶基板は、テンプレートとしての役割を果たし、結晶層の配向および格子間隔を決定する。結晶層は、いくつかの例では、格子整合または格子合致されることができる。格子整合結晶層は、結晶基板の上部表面と同一または非常に類似する格子間隔を有することができる。格子合致結晶層は、結晶基板の格子間隔整数倍数である格子間隔を有することができる。エピタキシの品質は、部分的に結晶層の結晶度に基づく。実践上、高品質エピタキシャル層は、最小限の瑕疵を伴い、殆どまたは全く粒界を伴わない単結晶であろう。従来、金属接触層が、上流処理におけるある点においてエピタキシャル構造に適用される。多くの場合、2つ以上の素子機能性を組み込む今日の複雑なエピタキシャル構造では、これは、大量のトポグラフィを伴うウエハ上における金属の広範なエッチングおよび堆積を要求し得る。

【0004】

金属と半導体との間の相互作用は、多くの場合、素子動作に重要である。金属と半導体との間のそのような相互作用の一例は、全体的音響性能が電極の音響インピーダンスと圧電材料の音響インピーダンスの積によって定義されるRFフィルタ等の薄膜共振器において生じる。実際、高共振周波数にアクセスするために、電極および圧電材料の両方を非常に薄くすることが不可欠である。これは、異なる厚さの金属電極に対してALNの厚さの関数としての共振周波数を示す図17に要約されている(その全体が参照することによって組み込まれる、S. Tanifuji、他のProceedings 2009 IEEE International Ultrasonic Symposium, p. 2170から引用)。ここでは、結晶品質も、重要である。何故なら、それがなければ、多結晶金属層内の瑕疵および結晶粒界の増加影響に起因して、抵抗率が厚さが減少するにつれて増加すると考えられるからである。

【0005】

InPの成長も、Zheng、他のJournal of Applied Physics, vol. 111, p. 123112(2012年)(その全体が参照することによって組み込まれる)に説明されるように、シリコンエンジニアリング基板を覆う金属上で試みられている。しかしながら、Zhengは、エピタキシャルではなく、多結晶である膜を説明している。

【0006】

イットリア安定化ジルコニア (YSZ) 上での金属のエピタキシャル成長は、Gsell、他の Journal of Crystal Growth, vol. 311, p. 3731 (2009年) (その全体が参照することによって組み込まれる) に説明されている。Gsellは、YSZを使用することによって下層シリコン基板から金属を分離することを説明しており、これが、任意のエピタキシャル金属の望ましくないケイ素化を防止するからである。YSZは、ジルコニアおよびイットリア標的を使用してスパッタリングされた (またはパルスレーザ堆積を用いて堆積された) 材料である。それは、単結晶材料ではなく、結晶粒界を有し、混合結晶性 (立方晶系および正方晶系) であり得る。したがって、それは、金属のエピタキシャル成長のために準最適テンプレートである。加えて、YSZ/シリコン界面の制御は、技術的に困難である。

10

【0007】

故に、半導体材料を覆って良好な結晶品質の金属をエピタキシャルに成長させることは、困難であることが証明されている。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0008】

層状構造内に統合されたエピタキシャル金属電極の使用のためのシステムおよび方法が本明細書に説明され、半導体層が、エピタキシャル金属電極を覆って成長させられ得る。本明細書に説明されるシステムおよび方法は、基板と、基板を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の希土類酸化物層と、希土類酸化物 (REO) 層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の金属層と、第1の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の半導体層とを備えている層状構造を含み得る。いくつかの実施形態では、基板は、限定ではないが、シリコン (Si)、ゲルマニウム (Ge)、絶縁体上シリコン (SOI)、SiGeを含む1つ以上の第IV族元素を含む。いくつかの実施形態では、基板は、最大10度のミスカットを伴う<100>または<111>のいずれかの結晶配向を有する。いくつかの実施形態では、基板は、限定ではないが、GaAs、InP、GaNを含む。第III族および第V族からの元素を含む。いくつかの実施形態では、基板は、限定ではないが、Ga₂O₃およびAl₂O₃を含む別の金属酸化物である。

20

【0009】

いくつかの実施形態では、希土類酸化物層は、周期表のランタニド基、スカンジウム (Sc)、およびイットリウム (Y) から選択される希土類金属元素を含む。いくつかの実施形態では、REO層は、1~2の酸素/金属比を有するREOから成る。いくつかの実施形態では、第1の金属層は、周期表の遷移金属基から選択される金属元素を含む。いくつかの実施形態では、第1の半導体層は、第III族、第IV族、第V族から選択される元素を含む。いくつかの実施形態では、基板は、シリコンから成り、REO層は、1.5の酸素/金属比を有するエルビウム酸化物 (ErO_{1.5}) から成り、第1の金属層は、モリブデン (Mo) から成る。いくつかの実施形態では、第1の半導体層は、Al_xSc_{1-x}N (0 ≤ x < 1) から成る。いくつかの実施形態では、基板は、Siから成るとき、<100>の結晶配向を有し、REO層は、ErO_{1.5}から成るとき、<110>の結晶配向を有し、第1の金属層は、Moから成るとき、<211>の結晶配向を有する。例えば、シリコンから成る基板は、<111>の配向を有し得、REO層は、ErO_{1.5}から成るとき、<110>の結晶配向を有する。いくつかの実施形態では、REO層は、複数の希少金属酸化物成分から成り、複数の希少金属酸化物成分は、異なる金属元素または異なる酸素/金属比を有する。

30

40

【0010】

いくつかの実施形態では、REO層は、第1のREOから成る第1の副層と、第2のREOから成る第2の副層とを含む。いくつかの実施形態では、REO層は、第1のREOから成る第1の領域と、第2のREOから成る第2の領域とを含み、第1の領域は、勾配パターンにおいて、第2の領域に遷移する。いくつかの実施形態では、REO層は、第1のREOから成る第1の副層と、第2のREOから成る第2の副層とを含み、第1の副層お

50

よび第2の副層は、超格子構造において繰り返される。いくつかの実施形態では、第2の金属酸化物は、第ⅠⅠⅠ族元素をさらに備えている。いくつかの実施形態では、第1の金属層は、第1の金属から成る第1の副層と、第2の金属から成る第2の副層とを含む。いくつかの実施形態では、第1の金属層は、第1の金属から成る第1の領域と、第2の金属から成る第2の領域とを含み、第1の領域は、勾配パターンにおいて、第2の領域に遷移する。いくつかの実施形態では、金属層は、第1の金属から成る第1の副層と、第2の金属から成る第2の副層とを含み、第1の副層および第2の副層は、超格子構造において繰り返される。いくつかの実施形態では、層状構造は、半導体層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第2の金属層をさらに備えている。

【0011】

いくつかの実施形態では、層状構造は、第2の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第2の半導体層をさらに備えている。いくつかの実施形態では、層状構造は、金属層と半導体層との組み合わせの最大20反復をさらに備えている。いくつかの実施形態では、層状構造は、金属層とREO層の組み合わせの反復をさらに備えている。いくつかの実施形態では、層状構造は、半導体層を覆って成長させられた第2のREO層をさらに備えている。いくつかの実施形態では、第2の金属層が、第2のREO層を覆ってエピタキシャルに成長させられる。いくつかの実施形態では、請求項1に記載の層状構造は、第1の金属層から成長させられたエピタキシャル層であって、2次元(2D)材料、キャップ層、および絶縁体から成る群から選択される成分を含むエピタキシャル層をさらに備えている。いくつかの実施形態では、2D材料は、グラフェンおよび遷移金属二硫化物から成る群から選択される。いくつかの実施形態では、キャップ層は、金属酸化物および金属ケイ化物から成る群から選択される材料から成る。いくつかの実施形態では、絶縁体は、REOから成る。いくつかの実施形態では、中間層が、第1の金属層から第1の半導体層に遷移する。いくつかの実施形態では、中間層は、金属窒化物、金属プニクタイド、およびテンプレート2D電極から成る群から選択される1つ以上の成分から成る。

【0012】

いくつかの実施形態では、中間層が、第1のREO層から第1の金属層に遷移する。いくつかの実施形態では、中間層は、第1の金属層からの金属成分および酸素を伴うように成長させられる。いくつかの実施形態では、第1の金属層は、第1の金属層の第1の部分と第1の金属層の第2の部分との間に第1の間隙空間を伴う非連続パターンを有し、第1の半導体層は、間隙および金属領域の両方を覆って成長させられる。

本発明は、例えば、以下を提供する。

(項目1)

層状構造であって、前記層状構造は、
基板と、

前記基板を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の希土類酸化物層と、
前記希土類酸化物層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の金属層と、
前記第1の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の半導体層と
を備えている、層状構造。

(項目2)

前記基板は、シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、絶縁体上シリコン(SOI)、およびSiGeから成る群から選択される1つ以上の第ⅠⅤ族元素を含む、項目1に記載の層状構造。

(項目3)

前記基板は、最大10度のミスカットを伴う<100>または<111>のいずれかの結晶配向を有する、項目1に記載の層状構造。

(項目4)

前記基板は、第ⅠⅠⅠ族および第Ⅴ族からの元素を含む、項目1に記載の層状構造。

(項目5)

前記基板は、Ga₂O₃およびAl₂O₃から成る群から選択される、項目1に記載の

10

20

30

40

50

層状構造。

(項目6)

前記希土類酸化物層は、周期表のランタニド基、スカンジウム (Sc)、およびイットリウム (Y) から選択される希土類金属元素を含む、項目1に記載の層状構造。

(項目7)

前記希土類酸化物層は、1～2の酸素／金属比を有する希土類酸化物から成る、項目1に記載の層状構造。

(項目8)

前記第1の金属層は、周期表の遷移金属基から選択される金属元素を含む、項目1に記載の層状構造。

(項目9)

前記第1の半導体層は、第III族、第IV族、第V族から選択される元素を含む、項目1に記載の層状構造。

(項目10)

前記基板は、シリコンから成り、

前記希土類酸化物層は、1.5の酸素／金属比を有するエルビウム酸化物 ($\text{ErO}_{1.5}$) から成り、

前記第1の金属層は、モリブデン (Mo) から成る、

項目1に記載の層状構造。

(項目11)

前記第1の半導体層は、 $\text{Al}_x\text{Sc}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) から成る、項目9に記載の層状構造。

(項目12)

前記基板は、Siから成るとき、 $\langle 100 \rangle$ の結晶配向を有し、

前記希土類酸化物層は、 $\text{ErO}_{1.5}$ から成るとき、 $\langle 110 \rangle$ の結晶配向を有し、

前記第1の金属層は、Moから成るとき、 $\langle 211 \rangle$ の結晶配向を有する、

項目10に記載の層状構造。

(項目13)

前記希土類酸化物層は、複数の希少金属酸化物成分から成り、前記複数の希少金属酸化物成分は、異なる金属元素または異なる酸素／金属比を有する、項目1に記載の層状構造。

(項目14)

前記希土類酸化物層は、第1の希土類酸化物から成る第1の副層と、第2の希土類酸化物から成る第2の副層とを含む、項目1に記載の層状構造。

(項目15)

前記希土類酸化物層は、第1の希土類酸化物から成る第1の領域と、第2の希土類酸化物から成る第2の領域とを含み、前記第1の領域は、勾配パターンにおいて、前記第2の領域に遷移する、項目1に記載の層状構造。

(項目16)

前記希土類酸化物層は、第1の希土類酸化物から成る第1の副層と、第2の希土類酸化物から成る第2の副層とを含み、前記第1の副層および前記第2の副層は、超格子構造において繰り返される、項目1に記載の層状構造。

(項目17)

前記第2の金属酸化物は、第III族元素をさらに備えている、項目13に記載の層状構造。

(項目18)

前記第1の金属層は、第1の金属から成る第1の副層と、第2の金属から成る第2の副層とを含む、項目1に記載の層状構造。

(項目19)

前記第1の金属層は、第1の金属から成る第1の領域と、第2の金属から成る第2の領域とを含み、前記第1の領域は、勾配パターンにおいて、前記第2の領域に遷移する、項

10

20

30

40

50

目 1 に記載の層状構造。

(項目 2 0)

前記金属層は、第 1 の金属から成る第 1 の副層と、第 2 の金属から成る第 2 の副層とを含み、前記第 1 の副層および前記第 2 の副層は、超格子構造において繰り返される、項目 1 に記載の層状構造。

(項目 2 1)

前記半導体層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の金属層をさらに備えている、項目 1 に記載の層状構造。

(項目 2 2)

前記第 2 の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の半導体層をさらに備えている、項目 2 1 に記載の層状構造。

10

(項目 2 3)

金属層と半導体層との組み合わせの最大 2 0 反復をさらに備えている、項目 1 に記載の層状構造。

(項目 2 4)

金属層と希土類酸化物層との組み合わせの反復をさらに備えている、項目 1 に記載の層状構造。

(項目 2 5)

前記半導体層を覆って成長させられた第 2 の希土類酸化物層をさらに備えている、項目 1 に記載の層状構造。

20

(項目 2 6)

前記第 2 の希土類酸化物層を覆ってエピタキシャルに成長させられた第 2 の金属層をさらに備えている、項目 2 5 に記載の層状構造。

(項目 2 7)

前記第 1 の金属層から成長させられたエピタキシャル層をさらに備え、前記エピタキシャル層は、2 次元 (2 D) 材料、キャップ層、および絶縁体から成る群から選択される成分を含む、項目 1 に記載の層状構造。

(項目 2 8)

前記 2 D 材料は、グラフェンおよび遷移金属二硫化物から成る群から選択される、項目 2 7 に記載の層状構造。

30

(項目 2 9)

前記キャップ層は、金属酸化物および金属ケイ化物から成る群から選択される材料から成る、項目 2 7 に記載の層状構造。

(項目 3 0)

前記絶縁体は、希土類酸化物から成る、項目 2 7 に記載の層状構造。

(項目 3 1)

前記第 1 の金属層から前記第 1 の半導体層に遷移する中間層をさらに備えている、項目 1 に記載の層状構造。

(項目 3 2)

前記中間層は、金属窒化物、金属プニクタイド、およびテンプレート 2 D 電極から成る群から選択される 1 つ以上の成分から成る、項目 3 1 に記載の層状構造。

40

(項目 3 3)

前記第 1 の希土類酸化物層から前記第 1 の金属層に遷移する中間層をさらに備えている、項目 1 に記載の層状構造。

(項目 3 4)

前記中間層は、前記第 1 の金属層からの金属成分と酸素とを用いて成長させられる、項目 3 3 に記載の層状構造。

(項目 3 5)

前記第 1 の金属層は、前記第 1 の金属層の第 1 の部分と前記第 1 の金属層の第 2 の部分との間に第 1 の間隙空間を伴う非連続パターンを有し、

50

前記第1の半導体層は、前記間隙および前記金属領域の両方を覆って成長させられる、
項目1に記載の層状構造。

(項目36)

層状構造を成長させる方法であって、前記方法は、
基板を取得することと、

第1の希土類酸化物層を前記基板を覆ってエピタキシャルに成長させることと、
第1の金属層を前記希土類酸化物層を覆ってエピタキシャルに成長させることと、
第1の半導体層を前記第1の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させることと
を含む、方法。

(項目37)

シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、絶縁体上シリコン(SOI)、およびSi
Geから成る群から選択される第IV族元素を含む前記基板を選択することをさらに含む
、項目36に記載の方法。

(項目38)

前記基板は、最大10度のミスカットを伴う<100>または<111>のいずれかの
結晶配向を有する、項目36に記載の方法。

(項目39)

第III族および第V族からの元素を含む前記基板層を選択することをさらに含む、項
目36に記載の方法。

(項目40)

前記基板は、Ga₂O₃およびAl₂O₃から成る群から選択される、項目36に記載
の方法。

(項目41)

周期表のランタニド基、スカンジウム(Sc)、およびイットリウム(Y)から選択さ
れる希土類金属元素を伴う前記希土類酸化物層を成長させることをさらに含む、項目36
に記載の方法。

(項目42)

1~2の酸素/金属比を有する希土類酸化物から成る前記希土類酸化物層を成長させる
ことをさらに含む、項目36に記載の方法。

(項目43)

周期表の遷移金属基から選択される金属元素を含む前記第1の金属層を成長させるこ
とをさらに含む、項目36に記載の方法。

(項目44)

第III族、第IV族、第V族から選択される元素を含む前記第1の半導体層を成長さ
せることをさらに含む、項目36に記載の方法。

(項目45)

シリコンから成る前記基板を選択することと、

1.5の酸素/金属比を有するエルビウム酸化物(ErO_{1.5})から成る前記希土類
酸化物層を成長させることと、

モリブデン(Mo)から成る前記第1の金属層を成長させることと
をさらに含む、項目36に記載の方法。

(項目46)

前記第1の半導体層は、Al_xSc_{1-x}N(0 ≤ x < 1)から成る、項目44に記載
の方法。

(項目47)

<100>の結晶配向を有するSiから成る前記基板を選択することと、

<110>の結晶配向を有するErO_{1.5}から成る前記希土類酸化物層を成長させる
ことと、

<211>の結晶配向を有するMoから成る前記第1の金属層を成長させることと
をさらに含む、項目45に記載の方法。

10

20

30

40

50

(項目 4 8)

複数の希少金属酸化物成分から成る前記希土類酸化物層を成長させることをさらに含み、前記複数の希少金属酸化物成分は、異なる金属元素または異なる酸素／金属比を有する、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 9)

第 1 の希土類酸化物から成る第 1 の副層と、第 2 の希土類酸化物から成る第 2 の副層とを含む前記希土類酸化物層を成長させることをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 5 0)

第 1 の領域と、第 2 の領域とを含む前記希土類酸化物層を成長させることをさらに含み、前記第 1 の領域は、第 1 の比率における元素を伴う第 1 の希土類酸化物合金を含み、前記第 2 の領域は、第 2 の比率における元素を伴う第 2 の希土類酸化物合金を含み、前記第 1 の領域は、勾配パターンにおいて、前記第 2 の領域に遷移する、項目 3 6 に記載の方法。

10

(項目 5 1)

第 1 の希土類酸化物から成る第 1 の副層と、第 2 の希土類酸化物から成る第 2 の副層とを含む前記希土類酸化物層を成長させることをさらに含み、前記第 1 の副層および前記第 2 の副層は、超格子構造において繰り返される、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 5 2)

第 I I I 族元素から成る前記第 2 の金属酸化物を成長させることをさらに含む、項目 4 8 に記載の方法。

(項目 5 3)

第 1 の金属から成る第 1 の副層と、第 2 の金属から成る第 2 の副層とを含む前記第 1 の金属層を成長させることをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

20

(項目 5 4)

第 1 の金属から成る第 1 の領域と、第 2 の金属から成る第 2 の領域とを含む前記第 1 の金属層を成長させることをさらに含み、前記第 1 の領域は、勾配パターンにおいて、前記第 2 の領域に遷移する、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 5 5)

第 1 の金属から成る第 1 の副層と、第 2 の金属から成る第 2 の副層とを含む前記金属層を成長させることをさらに含み、前記第 1 の副層および前記第 2 の副層は、超格子構造において繰り返される、項目 3 6 に記載の方法。

30

(項目 5 6)

前記半導体層を覆ってエピタキシャルに成長させられる第 2 の金属層を成長させることをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 5 7)

前記第 2 の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられる第 2 の半導体層を成長させることをさらに含む、項目 5 6 に記載の方法。

(項目 5 8)

金属層と半導体層との組み合わせの最大 2 0 反復を成長させることをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 5 9)

金属層と希土類酸化物との組み合わせの反復を後に成長させることをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

40

(項目 6 0)

前記半導体層を覆って成長させられる第 2 の希土類酸化物層酸化物を成長させることをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 6 1)

前記第 2 の希土類酸化物層を覆ってエピタキシャルに成長させられる第 2 の金属層を成長させることをさらに含む、項目 6 0 に記載の方法。

(項目 6 2)

前記第 1 の金属層からエピタキシャル層を成長させることをさらに含み、前記エピタキ

50

シヤル層は、２次元（２Ｄ）材料、キャップ層、および絶縁体から成る群から選択される成分を含む、項目３６に記載の方法。

（項目６３）

前記２Ｄ材料は、グラフェンおよび遷移金属二硫化物から成る群から選択される、項目６２に記載の方法。

（項目６４）

前記キャップ層は、金属窒化物、金属酸化物、および金属ケイ化物から成る群から選択される材料から成る、項目６２に記載の方法。

（項目６５）

前記絶縁体は、希土類酸化物から成る、項目６２に記載の方法。

（項目６６）

前記第１の金属層から前記第１の半導体層に遷移する中間層を成長させることをさらに含む、項目３６に記載の方法。

（項目６７）

前記中間層は、金属窒化物、金属プニクタイト、およびテンプレート２Ｄ電極から成る群から選択される１つ以上の成分から成る、項目６６に記載の方法。

（項目６８）

前記第１の希土類酸化物層から前記第１の金属層に遷移する中間層を成長させることをさらに含む、項目３６に記載の方法。

（項目６９）

前記第１の金属層からの金属成分と酸素とを用いて前記中間層を成長させることをさらに含む、項目６８に記載の層状構造。

（項目７０）

前記第１の金属層の第１の部分と前記第１の金属層の第２の部分との間に第１の間隙空間を伴う非連続パターンを伴う前記第１の金属層を成長させることと、

前記間隙および前記間隙空間における前記金属領域の両方を覆って前記第１の半導体層を成長させることと

をさらに含む、項目３６に記載の方法。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

本開示のさらなる特徴、その性質、および種々の利点が、付随の図面と関連して検討される以下の詳述される説明の考慮に応じて、より明白となるであろう。

【００１４】

【図１】図１は、例証的实施形態による、エピタキシャル金属層を基板と半導体層との間に成長させるための層状構造を描写する。

【００１５】

【図２】図２は、例証的实施形態による、図１に示される層状構造を成長させるためのフロー図を描写する。

【００１６】

【図３】図３－１６は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図１に示される層状構造の具体的例である。

【図４】図３－１６は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図１に示される層状構造の具体的例である。

【図５】図３－１６は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図１に示される層状構造の具体的例である。

【図６】図３－１６は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図１に示される層状構造の具体的例である。

【図７】図３－１６は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図１に示される層状構造の具体的例である。

【図８】図３－１６は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態

10

20

30

40

50

による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 9】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 10】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 11】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 12】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 13】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 14】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 15】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【図 16】図 3-16 は、層状構造の種々の例を描写し、それらの各々は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造の具体的例である。

【0017】

【図 17】図 17 は、従来技術のある実施形態による、異なる厚さの金属電極に対する AlN 厚の関数としての共振周波数を描写する。

【0018】

【図 18】図 18 は、エピタキシャル金属電極の有無別の計算された分布ブラッグ反射器 (DBR) の反射率を描写し、標準的 III 族窒化物 DBR の真下への結晶 REO および金属の追加は、ピーク反射率を 2% 増加させる。

【0019】

【図 19】図 19 は、例証的实施形態による、DBR が AlN および GaN の 11 周期から構築される方法を示すグラフを描写する。

【0020】

【図 20】図 20 は、例証的实施形態による、 Mo を覆って単一对の AlN 上に構築された $AlN-GaN$ DBR および $AlN-GaN$ DBR の両方に対してプロットされる 450 nm における計算された反射率を描写する。

【0021】

【図 21】図 21 は、例証的实施形態による、図 1 に示される層状構造を成長させるための方法のフローチャートを描写する。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本明細書に説明される構造および方法は、エピタキシャル金属をエピタキシャルスタック内に組み込み、それによって、埋込接触層を組み込む統合されたエピタキシャル金属電極を提供する。本明細書に開示される構造および方法は、高品質エピタキシャル金属層と、エピタキシャル金属層の上方での半導体材料の成長を継続する能力とを含む。一例では、結晶 REO 層が、基板または半導体を覆ってエピタキシャルに成長させられ得、金属層が、結晶 REO 層を覆ってエピタキシャルに成長させられ得る。半導体層が、エピタキシャル金属層を覆って成長させられ得る。REO 層は、1 つ以上の希土類 (RE) 種と、酸素とを含む層である。希土類種は、ランタン (La)、セリウム (Ce)、プラセオジウム (Pr)、ネオジウム (Nd)、プロメチウム (Pm)、サマリウム (Sm)、ユウロピウム (Eu)、ガドリニウム (Gd)、テルビウム (Tb)、ジスプロシウム (Dy)、ホルミウム (Ho)、エルビウム (Er)、ツリウム (Tm)、イットルビウム (Yb)、ルテチウム (Lu)、スカンジウム (Sc)、およびイットリウム (Y) を含む。

【0023】

REO は、蛍石型構造を呈することが知られている。これらの構造は、任意の他の要因の

10

20

30

40

50

中でもとりわけ、酸化物中に存在する希土類カチオンの原子重量の関数として形態差を呈する。

【0024】

特に、より軽い希土類を備えている酸化物は、+2および／または+3および／または+4の可能なイオン化状態の結果として、立方 CaF_2 型結晶構造を形成する。この結晶構造を有する酸化物は、可能な酸化状態の多重度に起因して、有意な正味荷電瑕疵を呈する（希土類酸化物に対して）。

【0025】

一方、より重い希土類から形成される酸化物（例えば、 RE_2O_3 等）は、 RE^{3+} のイオン化状態に起因して、アニオン空孔を含む歪んだ CaF_2 型結晶構造を呈する。より重い希土類の希土類酸化物に関連付けられた結晶構造は、「ピクスビ鉱」としても知られる。

【0026】

式 RE_2O_3 を有する希土類酸化物の例証的例は、 Er_2O_3 である。 Er_2O_3 の単位胞の結晶構造は、酸素空孔誘導蛍石誘導体（すなわち、ピクスビ鉱構造）である。 REO 誘電層は、これらの単位胞の集合を備えていることができる。

【0027】

アニオン空孔の数および位置は、 RE_2O_3 単位胞の結晶形状を決定する。この胞の結晶形状は、好適な整合を下層半導体基板の格子定数に提供するようにエンジニアリングされることができる。体対角線および／または面对角線に沿った酸素空孔は、C型立方構造につながる。例えば、蛍石単位胞あたり2つのアニオン空孔は、 Er_2O_3 の単位胞をSiの単位胞サイズのほぼ2倍まで増加させる。これは、次に、低歪み単相 Er_2O_3 が、直接、シリコン基板上にエピタキシャルに成長させられることを可能にする。

【0028】

さらに、アニオン空孔の数および位置は、所望の歪み（引張または圧縮）を誘電層および／または過成長層内に誘発するようにエンジニアリングされることができる。例えば、いくつかの実施形態では、半導体層内の歪みが、キャリア移動度に影響を及ぼすために所望される。

【0029】

各蛍石単位胞は、2つの酸素空孔を有し、それらは、体対角線に沿ってある。これらの2つの酸素空孔の存在は、 Er_2O_3 単位胞のサイズを2倍にさせ、それによって、その格子定数を2倍にし、それは、好適な整合を $\langle 100 \rangle$ シリコンの格子定数に提供する。

【0030】

いくつかの例では、酸素空孔は、面对角線の端部にある。ある他の例では、酸素空孔は、面对角線および体対角線の端部間に分散される。

【0031】

埋められた金属接触層が、半導体層を覆う金属のエピタキシャル堆積を使用して成長させられることができる。エピタキシャル金属層は、直接半導体層および／または直接基板上に成長させられることができる。いくつかの例では、随意的な遷移層が、エピタキシャル金属層と下層半導体層との間および／またはエピタキシャル金属層と下層基板との間にあることができる。電氣的利点だけではなく、埋められた接触層は、多くの場合、利用され得る金属と上層半導体との間の相互作用をもたらすであろう。RFフィルタにおけるようなこれらの相互作用は、金属と半導体（および任意の介在界面）との間の界面が瑕疵が殆どない高品質であるとき、より有用である。加えて、エピタキシャル金属は、高膜品質を保存しながら、スパッタリングされた金属より薄くされることができる。これは、部分的に、エピタキシャル界面がより高い品質であり、層が薄くされるにつれて、界面が全体的材料のより大きい比率となるからである。したがって、厚膜は、低品質界面によって殆ど影響されず、その性質は、バルク材料性質によって左右されるが、薄膜の性質は、界面性質によってより左右される。したがって、高品質界面は、薄膜を堆積させるとき、重要である。

10

20

30

40

50

【0032】

加えて、エピタキシャル金属層が、層のエピタキシャルスタックの反射率を修正するために使用され得る。光放出が上部表面から生じる素子に対して、基板に向かって放出される光は、概して、全体的出力電力に対して喪失されると見なされる。垂直共振器面発光レーザ（VCSEL）では、例えば、背面ミラーは、反射率＞99.8%を有する必要がある。これは、半導体材料のみを通して達成することが困難である。

【0033】

図18は、エピタキシャル金属電極を有する場合および有しない場合の計算されたDBR反射率を描写するグラフを示し、標準的III族窒化物DBRの真下への結晶希土類酸化物および金属の追加は、ピーク反射率を2%増加させる。III族窒化物材料は、第III族種と、窒素とを備えている材料である。第III族種は、B、Al、Ga、In、およびTlを含む周期表の第III族内の1つ以上の元素を含み得る。III族窒化物層は、複数の第III族元素を含む化合物であり得る。III族窒化物層は、GaN等の二元化合物、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) および $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) 等の三元化合物、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 \leq x, y \leq 1$) 等の四元化合物、ならびに $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_zN_{1-y-z}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1$) 等の五元化合物を含み得る。III族窒化物層は、ドーピングされないか、非意図的にドーピングされるか、またはドナーもしくはアクセプタドープでドーピングされ得る。

【0034】

結晶希土類酸化物（REO）エピタキシャル層は、シリコン等の半導体基板上的エピタキシャル金属のためのテンプレートとして使用され得る。シリコン以外の基板も、使用され得、例は、ゲルマニウム、Si-Ge合金、サファイア、二酸化ケイ素、絶縁体上シリコン（SOI）、および絶縁体上半導体（SOS）、前述のうちの1つの最上層を伴う基板、ならびに任意の半導体基板を含む。金属エピタキシの目的のために、結晶REOは、YSZと比較してより優れた材料である。まず第一に、結晶REOと基板との間の界面が、エピタキシャルプロセスの一部として設定される。希土類酸化物の適切な選択肢を用いることで、結晶REOテンプレートが、二次相を伴わずに、100%（またはほぼ100%）立方であるエピタキシャルに成長させられ得る。全体的エピタキシャルスタックに有益である結晶REOの他のパラメータおよびプロセス特性は、任意の寄生電荷がない酸化物-シリコン界面、YSZより高い密度（ $8.6 \sim 6.1 \text{ g/cm}^3$ ）、およびYSZより5倍も優れた熱伝導性である。エピタキシャル金属成長のためのテンプレートとしての役割を果たすことに加え、結晶REO層は、エピタキシャル金属層と下方の任意の基板との間の相互拡散を防止し得る。これは、例えば、望ましくない金属ケイ化物の形成を防止する（基板がシリコンである場合）。

【0035】

図1は、例証的实施形態による、層状構造400を図示する例示的略図を示す。構造100は、基板102と、基板102を覆って成長させられるREO層104と、REO層104を覆ってエピタキシャルに成長させられる金属層106と、金属層106を覆ってエピタキシャルに成長させられる半導体層108を含む。REO層104の厚さは、 t_{ox} として定義され、典型的には、酸化物の厚さは、 $0 \leq t_{ox} \leq 500 \text{ nm}$ として定義され得る。図1に描写される層構造100は、分子線エピタキシャル成長法（MBE）、有機金属気相エピタキシャル成長法（MOCVD）、または他の周知のエピタキシャル堆積技法のいずれかによって、単一エピタキシャルプロセスにおいて製造され得る。プロセスによって要求されるように、材料を堆積させるための堆積ツールは、単一チャンバであり得るか、プロセスの特定の部分が異なる相互接続されたチャンバ内で行われる周知のクラスターツールフォーマットのいずれかの使用であり得るか、または、複数の堆積ツールが、使用され得る。結晶REO層104は、エピタキシャル金属層106のためのテンプレートであり、エピタキシャル金属層106は、1つ以上の成分エピタキシャル金属層を備えていることができる。半導体層108は、III族窒化物材料、III-V材料、およびIV族材料のうちの1つ以上のものを備えていることができる。III-V材料は、

10

20

30

40

50

周期表のⅢ族からの１つ以上の種（Ｂ、Ａｌ、Ｇａ、Ｉｎ、およびＴｌ等）と、周期表のⅤ族からの１つ以上の種（Ｎ、Ｐ、Ａｓ、Ｓｂ、およびＢｉ等）とを含む。Ⅲ族窒化物は、Ⅲ－Ⅴ材料であり、Ⅲ族からの種と、窒素とを含む。Ⅲ族窒化物材料の例は、ＧａＮ、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, y \leq 1$)、および／またはＡｌＮを含む。他のⅢ－Ⅴ材料の例は、ＧａＡｓ、ＩｎＰ、ＩｎＡｓ、ＩｎＳｂ、ＩｎＧａＡｓ、ＧａＡｓＰ、ＩｎＧａＡｓＰ等のうちの１つ以上のものを含む。いくつかの実施形態では、ＲＥＯ層１０４のための酸素／金属比は、１～２の範囲である。いくつかの実施形態では、ＲＥＯ層１０４のための酸素／金属比は、１．４～１．６であり得る。

【００３６】

図１の層構造１００は、シリコン基板等の基板１０２を覆って成長させられ得る。フィルタ内の半導体材料が、エピタキシャルである場合、それは、フィルタの上方に成長させられ得る追加の半導体元素の統合に役立つ（必ずしも、直接、フィルタに電氣的に接続されるわけではない）。例えば、トランジスタ（その例は、電界効果トランジスタ、高電子移動度トランジスタ、およびヘテロ接合バイポーラトランジスタを含む）が、フィルタを覆って成長させられ、したがって、所与のシステムのために要求されるチップ面積を低減させ得る。

【００３７】

図２は、図１に描写される層構造を製作するための単一エピタキシャルプロセスを図示するプロセス概略２００を描写する。結晶ＲＥＯ層１０４が、基板１０２を覆ってエピタキシャルに成長させられる。金属層１０６が、結晶ＲＥＯ層１０４を覆ってエピタキシャルに成長させられる。半導体層１０８が、金属層１０６を覆ってエピタキシャルに成長させられる。いくつかの実施形態では、追加の金属層２１０が、半導体層１０８を覆ってエピタキシャルに成長させられ得る。図２に描写される層の各々は、１つ以上の副層を含むことができる。各層の組成は、図３－１３にさらに詳細に説明される。

【００３８】

使用されるエピタキシャル金属は、ルテニウムまたはモリブデン等の希土類金属または金属、または、以下の表１にリストアップされた他の代表的金属であり得る。エピタキシャル金属層２１０の金属元素を選択するために考慮すべき属性は、抵抗率だけではなく、層の光学および音響性質を決定する密度、ヤング係数、および屈折率も含む。表１にリストアップされていない他の金属も、使用され得る。

【表１】

表１. 金属層のための例示的金属

金属	結晶構造	抵抗率 ($\text{n}\Omega\text{-m}$)	密度 (g/cm^3)	ヤング係数 (GPa)	屈折率 @635nm
ルテニウム	hcp	71	12.5	447	
モリブデン	bcc	53	10.3	329	3.71
白金	fcc	105	21.5	168	2.33
銅	fcc	17	8.9	119	0.23
アルミニウム	fcc	28	2.7	70	1.39
ネオジウム	dhcp	643	7.0	41	
ガドリニウム	hcp	1310	7.9	55	
エルビウム	hcp	860	9.1	70	
イッテルビウム	fcc	250	6.9	24	
スカンジウム	hcp	562	2.9	74	

表１: 代表的金属および選択された性質

(hcp—最密六方、fcc—面心立方、bcc—体心立方、dhcp—二重最密六方)

【0039】

例えば、基板102は、シリコンから成り得、REO層104は、 $1.5(\text{ErO}_{1.5})$ の酸素／金属比を有するエルビウム酸化物から成り得、第1の金属層106は、モリブデン(Mo)から成り得る。第1の半導体層は、 $\text{Al}_x\text{Sc}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$)から成り得る。基板102は、Siから成るとき、 $\langle 111 \rangle$ の結晶配向を有し得、第1の金属層は、Moから成るとき、 $\langle 110 \rangle$ の結晶配向を有する。この例では、REOにおける酸素／金属比は、 $1.4 \sim 1.6$ の範囲を有し得る。

【0040】

別の例に対して、シリコンから成る基板102は、 $\langle 100 \rangle$ の配向を有し得、REO層104は、 $\text{ErO}_{1.5}$ から成るとき、 $\langle 110 \rangle$ の結晶配向を有し得、第1の金属層106は、Moから成るとき、 $\langle 211 \rangle$ の結晶配向を有し得る。この例では、REOにおける酸素／金属比は、 $1.4 \sim 1.6$ の範囲を有し得、半導体層108は、種々の組成を有し得る。

10

【0041】

図3-5は、結晶REO層104を覆って複数のエピタキシャル金属層を含む構造を描写する。図3-5におけるエピタキシャル金属層は、複数の金属層を含み得る。複数の金属層は、図3-4におけるようにスタックされた、例えば、あるタイプの金属から別のタイプの金属への段階的変化、または図5に示されるような勾配変化のいずれかとして成長させられ得る。例証目的のみのために、2つのタイプの金属層が、図3-5に描写されるが、3つ以上のタイプの金属層も、図3-5に示される類似様式において、構造内で使用され得る。

20

【0042】

図3は、例証的实施形態による、層状構造300を図示する例示的略図を示す。構造300は、段階的タイプ構成において、REO層104を覆ってエピタキシャルに成長させられた第1の金属層302と、第1の金属層302を覆ってエピタキシャルに成長させられた第2の金属層304とを含む。いくつかの実施形態では、第1の金属層302および第2の金属層304内の金属は、同一であり得る。いくつかの実施形態では、第1の層302および第2の金属層304内の金属は、異なり得る。いくつかの実施形態では、第1の金属層302および第2の金属層304は、同一厚さを有し得る。いくつかの実施形態では、第1の金属層302は、第2の金属層304と異なる厚さを有し得る。

30

【0043】

図4は、例証的实施形態による、層状構造400を図示する例示的略図を示す。構造400は、超格子タイプ構成において、REO層104を覆ってエピタキシャルに成長させられる第1の金属(層402、406)と第2の金属(層404、408)との複数の交互する層を含む。いくつかの実施形態では、第1の金属層402、406および第2の金属層404、408内の金属は、同一であり得る。いくつかの実施形態では、第1の層402、406内の金属と第2の層404および406内の金属とは、異なり得る。いくつかの実施形態では、第1の金属層402、406および第2の金属層404、408は、同一厚さを有し得る。いくつかの実施形態では、第1の金属層402、406は、第2の金属層404および408と異なる厚さを有し得る。2つの異なるタイプの金属層の2つの反復が、例証目的のみのために図4に示されるが、異なる数の反復(例えば、3つ、4つ、5つ等)が、構造内で使用され得ることに留意されたい。

40

【0044】

図5は、例証的实施形態による、層状構造500を図示する例示的略図を示す。構造500は、REO層104を覆ってエピタキシャルに成長させられる金属層106を含み、金属層106は、第1の領域502と、第2の領域504とを有し、第1の金属の第1の濃度および第2の金属の第2の濃度は、勾配構成において修正される。図5における第1および第2の金属の第1および第2の濃度の勾配は、線形(例えば、第1の金属から第2の金属への組成における線形変化)、超線形(superlinear、例えば、より高次の多項式)、劣線形(sublinear)、または段階的(例えば、材料組成における

50

離散変化)であり得る。いくつかの実施形態では、第1の濃度は、第1の領域502において第1の値を有し、第2の領域504において第2の値を有し得る。第1の金属の濃度は、層106の厚さにわたり変動し得る。同様に、第2の金属の第2の濃度は、第1の領域502において第3の値を有し、第2の領域504において第4の値を有し得る。第2の金属の濃度は、層106の厚さにわたり変動し得る。

【0045】

図3-5に描写される層構造300-500は、無線周波数(RF)フィルタ内に含まれ得る。エピタキシャル金属層106を覆って成長させられる半導体層108は、結合された電気機械的共振器として機能を果たす圧電材料であり得る。第1のエピタキシャル金属層(302、402)は、RFフィルタのための第1の電極であり得、第2の金属層(304、404)は、RFフィルタのための第2の電極であり得る。エピタキシャル金属層は、特に、それらが金属層を覆う単結晶層(例えば、半導体層)の後続成長のためのテンプレートとしての役割を果たす単結晶構造と金属の高伝導性を提供するので、RFフィルタ内の電極のために有用である。単結晶半導体層は、それらが、より高い圧電係数、より狭い帯域幅、およびより低い損失を提供するため、RFフィルタ内の半導体材料として有用である。部分的に、性能増加は、エピタキシャル金属電極の品質および結晶位置合わせに起因し、それは、後続膜のより高い品質をもたらす。

【0046】

図3-5に描写される構造のいずれも、光学素子内に含まれ得る。1つのそのような用途は、分布ブラッグ反射器(DBR)におけるものであろう。DBRに対して、1つの重要な考慮点は、成分層間の屈折率である。屈折率が異なるほど、より少ない周期が要求され、阻止域がより広くなる。これは、総合的層スタック厚さの低減、それによって、製造コスト/複雑性の削減への道筋をもたらす。例えば、半導体AlNおよびGaInNを採用するDBRでは、420nmでの屈折率におけるデルタは、0.34である。2つの材料が、エピタキシャルMoを覆うAlNに変化させられる場合、この差異は、0.85まで増加するであろう。

【0047】

多くのフォトリソグラフィ素子において、全ての光が、エピタキシャル表面に対して直角に進行するわけではない。DBRが、屈折率にわずかな差異のみをもたらす半導体から構築されるとき、入射角への反射率の著しい依存が存在する。エピタキシャル金属層106を伴わない層状構造100と比較した層状構造100の反射率の性能の例は、図18-20に示される。

【0048】

図6-8は、基板102を覆う複数の結晶REO層を含む構造を描写する。図6および7におけるREO層106は、複数のREO層を含み得る。複数の希土類酸化物層が、図6-7におけるようにスタックされたものとして(例えば、あるタイプのREOから別のタイプのREOへの段階的变化)、または、図8に示されるような勾配変化のいずれかとして成長させられ得る。いくつかの実施形態では、基板102に隣接して設置された第1の最適REOと、金属層106のエピタキシを支援するように設置された第2の最適REOとが存在する事例も存在し得る。例証目的のみのために、2つのタイプのREO層が、図6-8に描写されるが、3つ以上のタイプのREO層も、図6-8に示される類似様式において、構造内で使用され得る。

【0049】

図6は、段階的タイプ構成において、基板102を覆ってエピタキシャルに成長させられる第1のREO層602と、第1の希土類酸化物層602を覆ってエピタキシャルに成長させられる希土類酸化物層604とを含む層構造600を描写する。いくつかの実施形態では、第1の希土類酸化物層602および第2の希土類酸化物層604内の希土類金属は、同一であり得る。いくつかの実施形態では、第1の希土類酸化物層602と第2の希土類酸化物層604内の希土類金属とは、異なり得る。いくつかの実施形態では、第1のREO層602および第2のREO層604は、同一厚さを有し得る。いくつかの実施形態

10

20

30

40

50

では、第1のREO層602は、第2のREO層604と異なる厚さを有し得る。いくつかの実施形態では、第1の希土類金属は、第1の層602において第1の濃度を有し、第2の層604において第2の濃度を有し得る。同様に、第2の希土類金属は、第1の層602において第3の濃度を有し、第2の層604において第4の濃度を有し得る。いくつかの実施形態では、酸素の濃度は、第1の層602と第2の層604とで異なり得る。

【0050】

図7は、超格子タイプ構成において、基板102を覆ってエピタキシャルに成長させられる第1のREO（層702、706）および第2のREO（層704、708）の複数の交互する層を含む層構造700を描写する。いくつかの実施形態では、第1のREO層702、706および第2の希土類金属酸化物層704、708内の希土類金属は、同一であり得る。いくつかの実施形態では、第1の層702、706内の希土類金属と第2の層704および706内の希土類金属とは、異なり得る。いくつかの実施形態では、第1のREO層702、706および第2のREO層704、708は、同一厚さを有し得る。いくつかの実施形態では、第1のREO層702、706は、第2のREO層704および708と異なる厚さを有し得る。いくつかの実施形態では、第1の希土類金属は、層702において第1の濃度を有し、層704において第2の濃度を有し得る。同様に、第2の希土類金属は、層702において第3の濃度を有し、層704において第4の濃度を有し得る。いくつかの実施形態では、酸素の濃度は、層702と層704とで異なり得る。2つの異なるタイプのREO層の2つの反復が、例証目的のみのために、図7に示されるが、異なる数の反復（例えば、3つ、4つ、5つ等）が、構造内で使用され得ることに留意されたい。

【0051】

図8は、例証的实施形態による、層状構造800を図示する例示的略図を示す。構造800は、基板102を覆ってエピタキシャルに成長させられるREO層104を含み、REO層106は、第1の領域802と、第2の領域804とを有し、第1の希土類金属の第1の濃度および第2の希土類金属の第2の濃度は、勾配構成において修正される。図8における第1および第2の希土類金属の第1および第2の濃度の勾配は、線形（例えば、第1の金属から第2の金属への組成における線形変化）、超線形（例えば、より高次の多項式）、劣線形、または段階的（例えば、材料組成における離散変化）であり得る。いくつかの実施形態では、第1の希土類金属の第1の濃度は、第1の領域802において第1の値を有し、第2の領域804において第2の値を有し得る。第1の希土類金属の濃度は、層106の厚さを横断して変動し得る。同様に、第2の金属の第2の濃度は、第1の領域802において第3の値を有し、第2の領域804において第4の値を有し得る。第2の金属の濃度は、層106の厚さを横断して変動し得る。

【0052】

図9は、例証的实施形態による、層状構造900を図示する例示的略図を示す。構造800は、図1に示される構造の例を描写し、半導体層108は、III族窒化物層、特に、 $Al_{1-x}Sc_xN$ ($0 \leq x \leq 1$) 層であり、金属層106は、Mo層であり、REO層104は、 Er_2O_3 層であり、基板102は、 $Si<111>$ 基板である。図9に示される構造の他の例も、可能であり、層の各々は、図3-8に説明されるように、1つ以上の副層を含み得る。

【0053】

いくつかの実施形態では、図1に示されるような層状構造100は、エピタキシャル金属層106と半導体108との間またはREO層104とエピタキシャル金属層106との間のいずれかに中間層を含むように修正され得る。そのような層の目的は、酸化物から金属または金属から半導体への遷移の化学的または結晶学的エンジニアリングを可能にすることである。化学的エンジニアリングは、半導体または金属層の初期エピタキシャル堆積中の半導体または金属原子の核生成または移動を促すことを含むことができる。結晶学的エンジニアリングは、金属と半導体層との間の結晶構造または格子定数における遷移を補助することを含むことができる。結晶構造内の遷移の例は、六方型結晶構造から立方型結

10

20

30

40

50

晶構造への遷移である。

【0054】

図10は、例証的实施形態による、層状構造1000を図示する例示的略図を示す。構造1000は、結晶REO層104を覆ってエピタキシャルに成長させられる中間層1002を覆うエピタキシャル金属層106を描写する。いくつかの実施形態では、中間層1002は、エピタキシャル金属層106内の金属と酸素との組み合わせを用いて作製される金属酸化物1004であり得る。

【0055】

図11は、例証的实施形態による、層状構造1100を図示する例示的略図を示す。構造1100は、REO層104を覆うエピタキシャル金属層106と、エピタキシャル金属層を覆うエピタキシャル中間層1102と、中間層1102を覆うエピタキシャル半導体層106とを描写する。いくつかの実施形態では、中間層は、金属ケイ化物から成り得る。いくつかの実施形態では、中間層は、金属窒化物1104から成り得る。いくつかの実施形態では、中間層1102は、希土類プニクタイド1106から成り得、希土類プニクタイド1106は、一般に、希土類窒化物、希土類ヒ化物、および希土類リン化物を含む。いくつかの実施形態では、中間層1102は、2次元(2D)電極1108から成り得る。

【0056】

いくつかの実施形態では、異なる組成／タイプのより多くの半導体が、他の半導体層108を覆ってエピタキシャルに成長させられ得る。いくつかの実施形態では、第2の金属が、半導体層を覆って成長させられ得る。本実施形態に対して、前述の金属エピタキスキームのいずれかが、利用され得、金属と半導体との間にエピタキシャルに成長させられる前述の中間層のいずれかが、最終エピタキシャルスタックの要求される特徴に応じて、全体的エピタキシャルプロセスのために使用され得る。半導体の上方の層は、半導体のその下方のものに合致する必要はない。例えば、半導体の上方の層は、半導体の下方の層と同一であることも、異なることもある。

【0057】

いくつかの実施形態では、エピタキシャル金属層が、半導体層108を覆って成長させられ得る。いくつかの実施形態では、3つの可能なエピタキシャル中間層である金属ケイ化物、金属窒化物、および希土類プニクタイドが、半導体層108とエピタキシャル金属層との間に成長させられ得る。エピタキシャル金属層を半導体108を覆って成長させるための選択が行われる場合、前述の例のいずれかまたは全てが、別の半導体層を金属を覆ってエピタキシャルに成長させる目的のために繰り返され得る。

【0058】

図12は、例証的实施形態による、層状構造1202および1204の単位から成る素子を図示する例示的略図を示す。構造1200は、随意の中間層を伴う繰り返される金属／半導体構造の例を描写する。図12は、3つの単位1204の層スタックを描写する。層スタックは、他の数の単位を含み得るが、3つが、例証目的のためにここでは示される。各単位は、同一であり得るか、または層スタック内の単位のうちの1つ以上のものは、異なり得る。層状構造1202は、層スタック1204内の例示的単位を描写する。この例示的単位は、第1のエピタキシャル金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられる第1の中間層と、第1の中間層を覆ってエピタキシャルに成長させられる半導体層108と、半導体層を覆ってエピタキシャルに成長させられる第2の中間層と、第2の中間層を覆ってエピタキシャルに成長させられる第2のエピタキシャル金属層とを含む。層スタック内の単位のいずれかは、第1および第2の中間層を含まないか、そのうちの一方を含むか、または両方を含み得る。加えて、1つの単位内の第2のエピタキシャル金属層は、上方の単位内の第1のエピタキシャル金属層と同一であることができる。単位内のエピタキシャル金属層および／または一方または両方は、単一金属、傾斜金属層、複数の副層を伴う金属層、および／または複数の金属層を伴う超格子であり得る。1204に描写されるもの等の層スタックは、フォトニック用途において使用され得る。例えば、層スタックは、DBR等

10

20

30

40

50

の金属－半導体ミラーであり得る。

【0059】

図13は、例証的实施形態による、層状構造1302、1304、1306を図示する例示的略図を示す。構造1302、1304、および1306は、下方の層を現場外処理および／または素子動作に整合させるための最終エピタキシャル層の例を描写する。これらは、限定ではないが、1302に示されるような上側金属層を酸化から保護するための金属ケイ化物の使用、1304に示されるような伝導性を向上させるためのグラフェンまたは他の2D構造の追加、および1306に示されるような下層エピタキシャルスタックを電氣的に隔離するための誘電または絶縁体のいずれかとしての結晶REO層の追加を含む。いくつかの実施形態では、第2のエピタキシャル金属層が、半導体108を覆って成長させられるようなREO層を覆って成長させられ得る。これらの3つの最上層は、単一層実体として示されるが、そのような層の提供がここに示されない追加の層を要求し得ることが予期されることに留意されたい。

10

【0060】

図14は、例証的实施形態による、層状構造100への修正を図示する例示的略図を示す。構造1402は、半導体層108を覆う第2のエピタキシャル金属層1404を描写する。構造1406は、第2のエピタキシャル金属層1404を覆って成長させられる第2の半導体層1408を描写する。いくつかの実施形態では、第2のエピタキシャル金属層1404と第2の半導体層1408の組み合わせは、ミラーであり得る。第2のエピタキシャル金属層1404の上方の層は、エピタキシの次の位相のためのテンプレートとして使用され、追加の機能性を送達し得る。酸化物の成長は、部分1406を、それを覆って部分1406が成長させられ得る、層構造100から電氣的に隔離し得る。

20

【0061】

図15は、例証的实施形態による、層状構造1500を図示する例示的略図を示す。構造1500は、半導体108がスタックを覆って成長させられる前にスタック1504を構築するための、複数回のREO層104とエピタキシャル金属層106との組み合わせ1502のための反復パターンを描写する。いくつかの実施形態では、部分1502は、半導体108をスタック1504を覆って成長させる前に、1、2、3・・・20・・・または任意の他の回数であり得る。

【0062】

図16は、例証的实施形態による、層状構造1602および1606を図示する例示的略図を示す。構造1602は、エピタキシャル金属層106を描写し、エピタキシャル金属層は、成長が、2Dではなく3Dであるように、マスクを反応器内に組み込むこと、酸化物の表面上のパターン、または金属の化学的性質の制御のいずれかによって区分される。いくつかの実施形態では、半導体層108は、区分された金属層106を覆う連続区分として成長させられ得る。いくつかの実施形態では、半導体層108も、1606に示されるように、成長が、2Dではなく、3Dであるように、マスクを反応器内に組み込むこと、酸化物の表面上のパターン、または金属の化学的性質の制御のいずれかによって区分され得る。いくつかの実施形態では、第2の金属層1604が、分断された半導体層108を覆って成長させられ得、金属層1404は、層108内の種々の半導体区分間の空洞内に成長させられる。第2の金属層は、半導体層の異なる区分を覆って成長させられ得る。いくつかの実施形態では、上流プロセスは、第2の金属層金属にアクセスし、追加の処理ステップ（例えば、厚い接点の電気めっき）のためのテンプレート／シードとして使用し得る。いくつかの実施形態では、半導体層108は、金属を覆って成長させられる場合、または酸化物を覆って成長させられる場合、異なる機能を有し得る。

30

40

【0063】

図17は、従来技術（その全体が参照することによって組み込まれる、S. Tanifuji、他のProceedings 2009 IEEE International Ultrasonic Symposium, p. 2170から引用）のある実施形態による、異なる厚さの金属電極に対するALN厚の関数としての共振周波数を示す。ここで

50

は、結晶品質も、重要である。それがなければ、多結晶金属層内の瑕疵および結晶粒界の増加影響に起因して、抵抗率が厚さが減少するにつれて増加すると考えられるからである。

【0064】

図19は、DBRがAlNおよびGaNの11周期から構築される方法を示す、グラフを描写する。入射角が増加すると、有効層厚は、阻止域をより低い波長にシフトさせる結果をもたらし、ある角度では、設計波長（この例では、450nm）が、中心阻止域外にあるであろうことを意味する。

【0065】

金属（この場合、モリブデン）を覆うAlNの追加は、入射角に対するこの感度を著しく減少させる。

【0066】

図20は、Moを覆って単一对のAlN上に構築された11周期AlN-GaN DBRおよび10周期AlN-GaN DBRの両方に対してプロットされた450nmにおける計算された反射率を描写する。60°の入射角に見られ得るように、エピタキシャル金属層の追加は、反射率を30%から65%に増加させた。

【0067】

エピタキシャル金属層は、より大きい結晶粒径およびより少ない結晶粒界をもたらし、それは、結晶粒界および瑕疵に関連付けられた損失が有意となる前に、より薄い金属層を可能にする。加えて、金属層と半導体との間の界面は、クリーンかつ個別的であり、その両方は、多結晶／スパッタリングDBR構造体と比較して、半導体-金属DBRの損失を低減させる。

【0068】

図21は、例証的实施形態による、層状構造100を成長させるプロセス2100のフローチャートである。プロセスは、2102において、基板102が取得されると開始する。2104では、第1のREO層104が、基板102を覆って成長させられる。2106では、第1の金属層106が、第1のREO層104を覆ってエピタキシャルに成長させられる。2108では、半導体層108が、第1の金属層106を覆ってエピタキシャルに成長させられる。

【0069】

2102では、基板（例えば、図1における基板102参照）が、取得される。いくつかの実施形態では、基板は、シリコン（Si）、ゲルマニウム（Ge）、絶縁体上シリコン（SOI）、および炭化ケイ素（SiC）から成る群から選択される第IV族元素を含み、基板は、一例では、最大10度のミスカットを伴う<100>または<111>のいずれかの結晶配向を有する。

【0070】

2104では、第1のREO層（例えば、図1におけるREO層104参照）が、基板を覆ってエピタキシャルに成長させられる。

【0071】

2106では、第1の金属層（例えば、図1における金属層106参照）が、第1のREO層を覆ってエピタキシャルに成長させられる。

【0072】

2108では、第1の半導体層（例えば、図1における半導体層104参照）が、第1の金属層を覆ってエピタキシャルに成長させられる。

【0073】

本明細書に説明される成長および／または堆積は、化学蒸着法（CVD）、有機金属化学蒸着法（MOCVD）、有機金属気相成長法（OMVPE）、原子層堆積法（ALD）、分子線成長法（MBE）、水素化物気相成長法（HVPE）、パルスレーザ堆積法（PLD）、および／または物理蒸着法（PVD）のうちの1つ以上のものを使用して行われ得る。

【0074】

本明細書に説明されるように、層は、表面を被覆する実質的に均一厚の材料を意味する。層は、連続または断続（すなわち、材料の領域間に間隙を有する）のいずれかであることができる。例えば、層は、表面を完全に被覆するか、または集合的に層を画定する個別的な領域（すなわち、選択的エリアエピタキシを使用して形成される領域）に区分され得る。

【0075】

「モノリシックに統合される」とは、典型的には、表面上に配置される層を堆積させることによって、基板の表面上に形成されることを意味する。

【0076】

「上に配置される」とは、下層材料または層の「上に存在する」ことを意味する。この層は、好適な表面を確実にするために必要な遷移層等の中間層を備え得る。例えば、材料が「基板上に配置される」ように説明される場合、これは、（１）材料が基板と直に接触すること、または（２）材料が基板上に常駐する１つ以上の遷移層と接触することのいずれかを意味することができる。

【0077】

「単結晶」とは、実質的に１つのみのタイプの単位胞を備えている結晶構造を意味する。しかしながら、単結晶層は、積層瑕疵、転位、または他の一般に生じる結晶瑕疵等、いくつかの結晶瑕疵を呈し得る。

【0078】

「単分域」とは、単位胞の実質的に１つのみの構造と、その単位胞の実質的に１つのみの配向とを備えている結晶構造を意味する。言い換えると、単分域結晶は、双晶形成または逆相分域を呈さない。

【0079】

「単相」とは、単結晶および単分域の両方である結晶構造を意味する。

【0080】

「基板」とは、堆積される層が形成される材料を意味する。例示的基板は、限定ではないが、ウエハが単結晶シリコンの均質厚を備えているバルクシリコンウエハ、バルクシリコンハンドルウエハ上に配置される二酸化ケイ素層の上に配置されるシリコンの層を備えている絶縁体上シリコンウエハ等の複合ウエハ、またはその上もしくはその中に素子が形成される基層としての役割を果たす、任意の他の材料を含む。用途に応じて、基板層およびバルク基板として使用するために好適なそのような他の材料の例は、限定ではないが、ゲルマニウム、アルミナ、ヒ化ガリウム、リン化インジウム、シリカ、二酸化ケイ素、ホウケイ酸ガラス、パイレックス（登録商標）、およびサファイアを含む。

【0081】

「ミスカット基板」とは、基板の結晶構造に関連付けられたそれに対してある角度で配向される表面結晶構造を備えている基板を意味する。例えば、 6° ミスカット $\langle 100 \rangle$ シリコンウエハは、別の主要結晶配向（ $\langle 110 \rangle$ 等）に向かって 6° だけ $\langle 100 \rangle$ 結晶配向に対して斜めに切断された $\langle 100 \rangle$ シリコンウエハを備えている。典型的には、必ずしもではないが、ミスカットは、最大約 20° となるであろう。具体的に記載されない限り、語句「ミスカット基板」は、任意の主要結晶配向を有するミスカットウエハを含む。すなわち、 $\langle 011 \rangle$ 方向に向かってミスカットされた $\langle 111 \rangle$ ウエハ、 $\langle 110 \rangle$ 方向に向かってミスカットされた $\langle 100 \rangle$ ウエハ、および $\langle 001 \rangle$ 方向に向かってミスカットされた $\langle 011 \rangle$ ウエハで。

【0082】

「絶縁体上半導体」とは、単結晶半導体層と、単相誘電層と、基板とを備え、誘電層が半導体層と基板との間に挿入される組成を意味する。この構造は、典型的には、単結晶シリコン基板と、非単相誘電層（例えば、非晶質二酸化ケイ素等）と、単結晶シリコン半導体層とを含む従来技術の絶縁体上シリコン（「SOI」）組成を連想させる。

【0083】

絶縁体上半導体組成は、単相形態を有する誘電層を含む一方、SOIウエハは、含まない。実際、典型的SOIウエハの絶縁体層は、単結晶ですらない。

10

20

30

40

50

【0084】

絶縁体上半導体組成は、シリコン、ゲルマニウム、またはシリコン-ゲルマニウム「活性」層を含む一方、従来技術のSOIウエハは、シリコン活性層を使用する。言い換えると、例示的絶縁体上半導体組成は、限定ではないが、絶縁体上シリコン、絶縁体上ゲルマニウム、および絶縁体上シリコンゲルマニウムを含む。

【0085】

本明細書において第2の層「上に存在する」またはそれ「を覆う」ものとして説明ならびに／もしくは描写される第1の層は、第2の層に直接的に隣接することができるか、または第1の層と第2の層との間に存在し得る1つ以上の介在層であることができる。本明細書において「直接的に」第2の層または基板「上に存在する」もしくはそれ「を覆う」ものとして説明および／または描写される第1の層は、第1の層と第2の層もしくは基板との混合に起因してある場合生じ得る介在合金層以外の介在層を伴わない第2の層または基板に直接的に隣接する。加えて、本明細書において第2の層または基板「上に存在する」、それ「を覆う」、「直接的に」その「上に存在する」、もしくは「直接的に」それ「を覆う」ものとして説明および／または描写される第1の層は、第2の層もしくは基板全体、または第2の層もしくは基板の一部を被覆し得る。

【0086】

基板は、層成長中に基板ホルダ上に設置され、従って、上面または上側表面は、基板ホルダから最も遠い基板または層の表面である一方、底部表面または下側表面は、基板ホルダに最も近い基板または層の表面である。本明細書に描写され、説明される構造のいずれかは、描写された構造の上方および／または下方に追加の層を伴うより大きい構造の部分であることができる。明確化のために、本明細書における図は、これらの追加の層を省略し得るが、これらの追加の層は、開示される構造の一部であることができる。加えて、描写される構造は、たとえ反復が図内に描写されていなくても、その単位で反復されることができる。

【0087】

上記説明から、種々の技法が、本開示の範囲から逸脱することなく、本明細書に説明される概念の実装の使用され得ることが、明白である。説明される実施形態は、全ての点で、例証的でありかつ制限的ではないと見なされるべきである。本明細書に説明される技法および構造が、本明細書に説明される特定の例に限定されるものではないが、本開示の範囲から逸脱することなく他の例に実装されることができるとも理解されたい。同様に、動作は、図面内に特定の順序で描写されるが、これは、望ましい結果を達成するために、そのような動作が示される特定の順序または連続した順序で実施されること、もしくは全ての図示される動作が示される特定の順序または連続した順序で実施されることを要求するものではないことを理解されたい。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

100

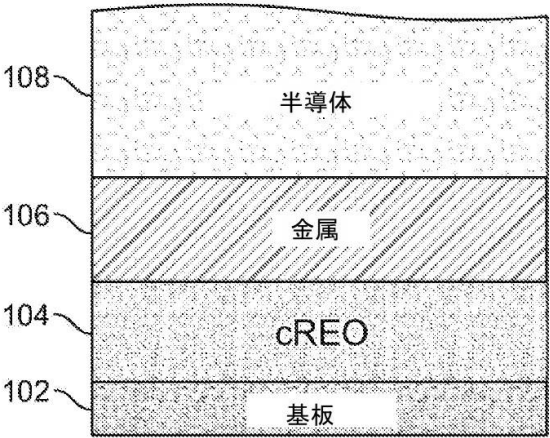


FIG. 1

【図 2】

200

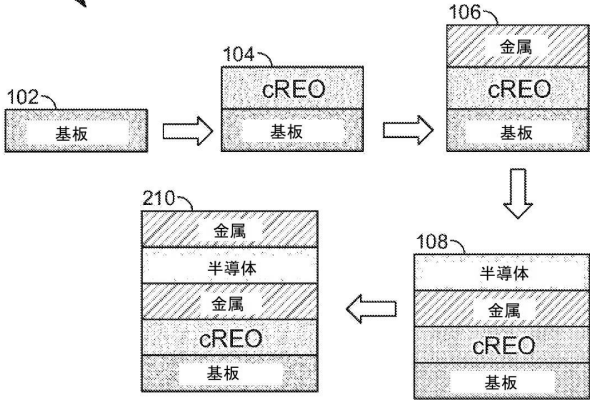


FIG. 2

【図 3】

300

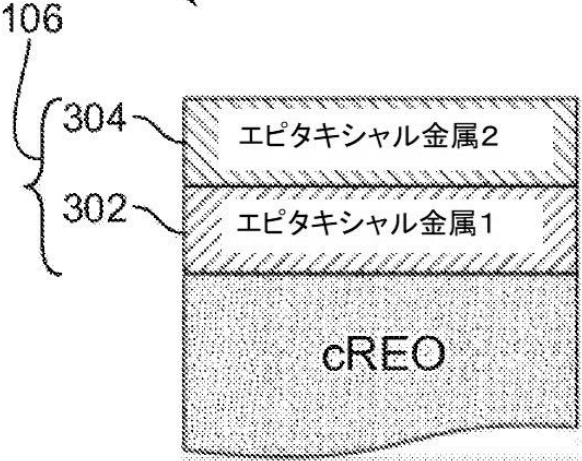


FIG. 3

【図 4】

400

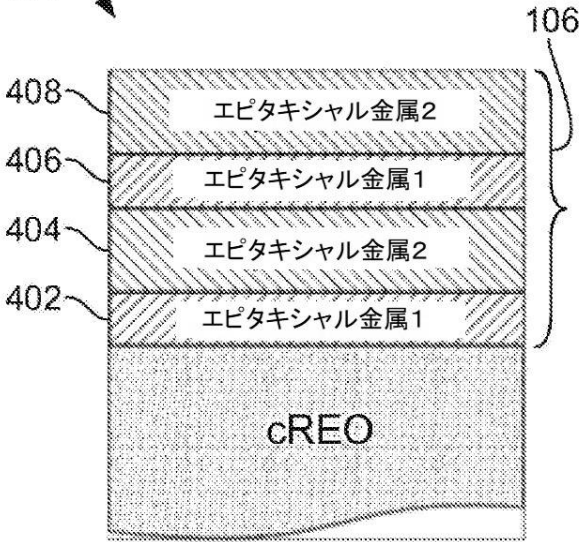


FIG. 4

10

20

30

40

50

【図 5】

500

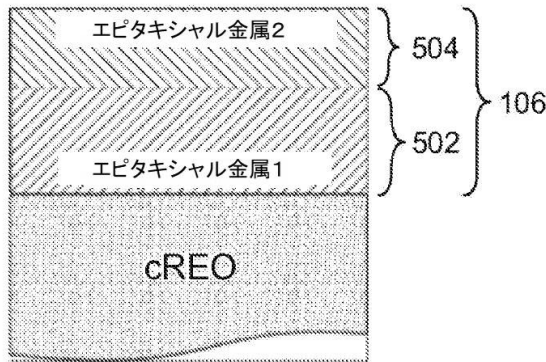


FIG. 5

【図 6】

600

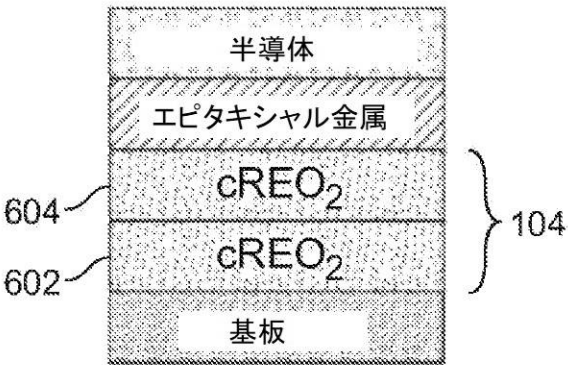


FIG. 6

【図 7】

700

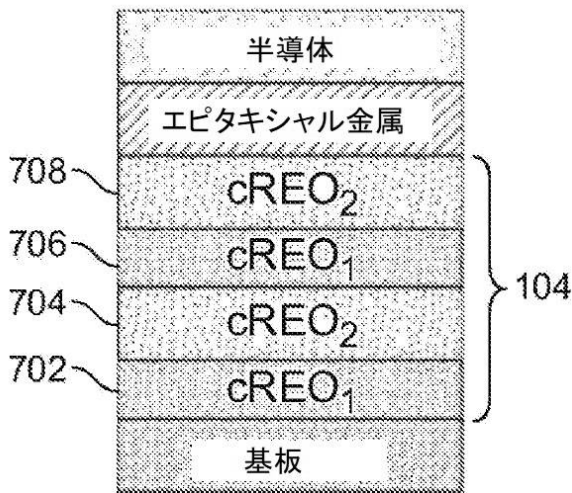


FIG. 7

【図 8】

800

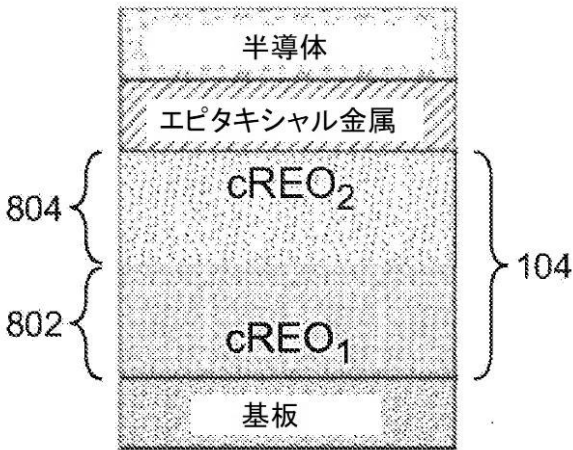


FIG. 8

10

20

30

40

50

【図 9】

900

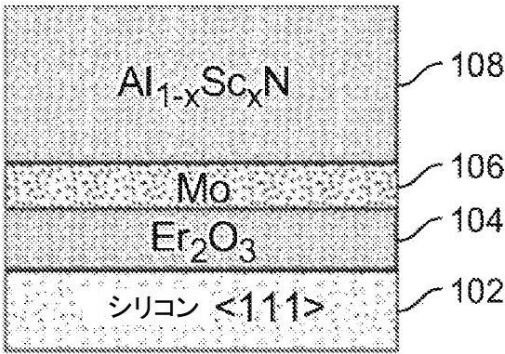


FIG. 9

【図 10】

1000

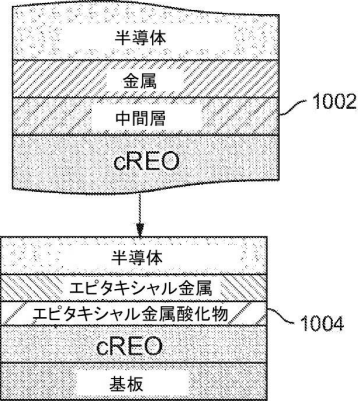
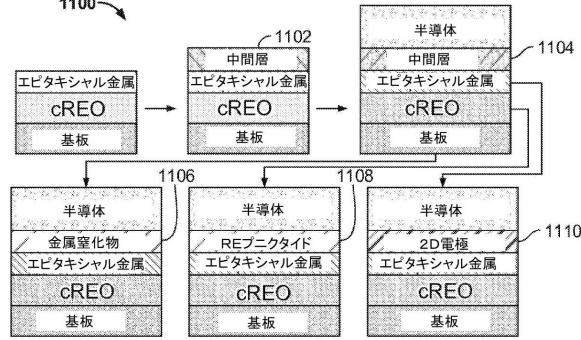


FIG. 10

【図 11】

1100



III-N、III-V、IV等の
半導体合金の成長

半導体の成長

FIG. 11

【図 12】

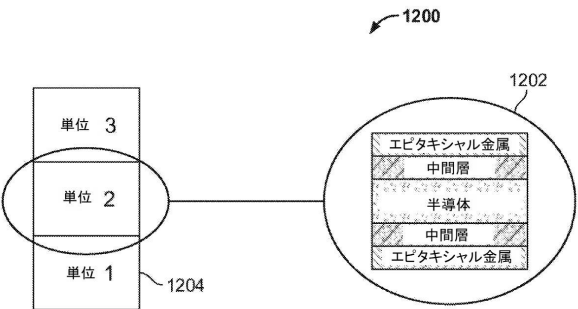


FIG. 12

10

20

30

40

50

【図 1 3】

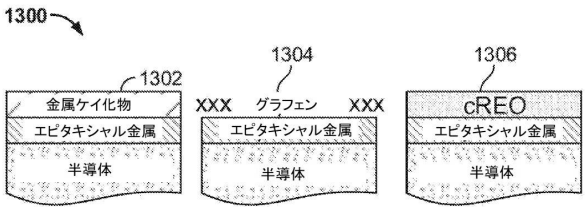


FIG. 13

【図 1 4】

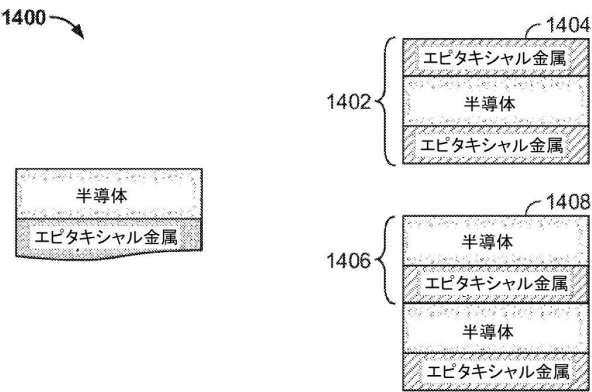


FIG. 14

【図 1 5】

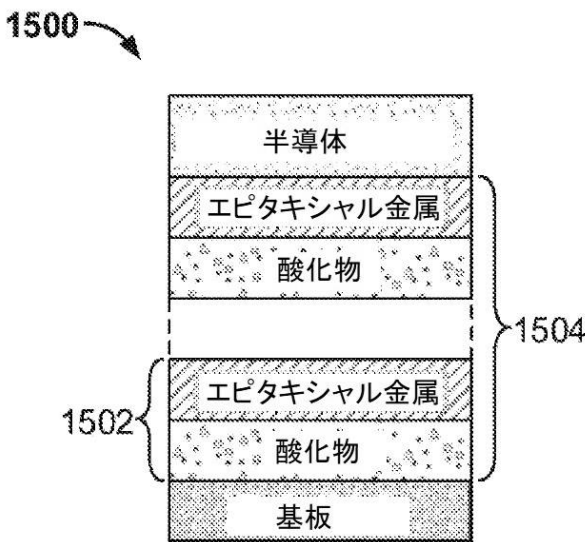


FIG. 15

【図 1 6】

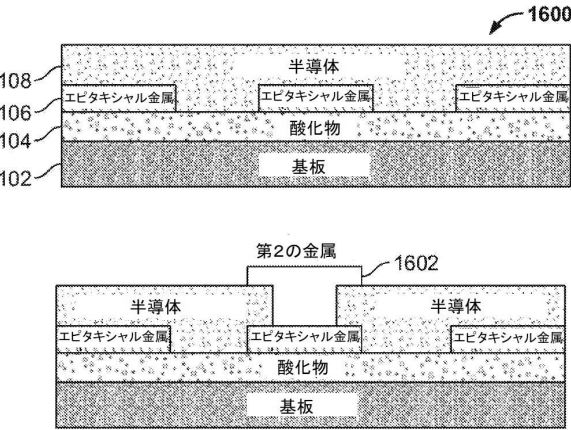


FIG. 16

10

20

30

40

50

【図 17】

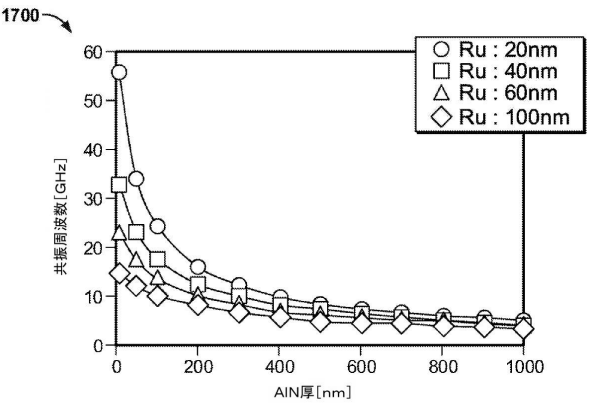


FIG. 17

【図 18】

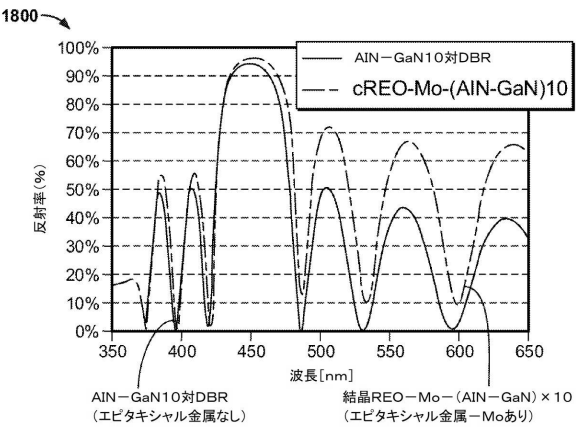


FIG. 18

【図 19】

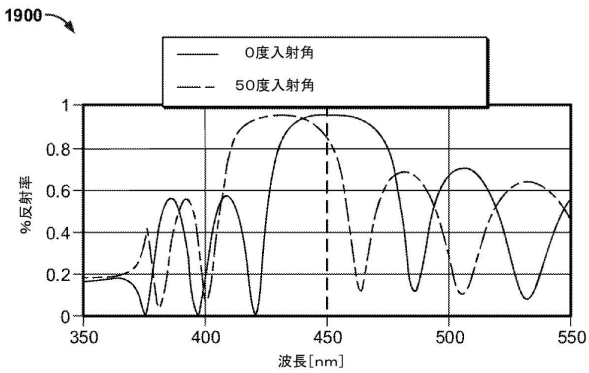


FIG. 19

【図 20】

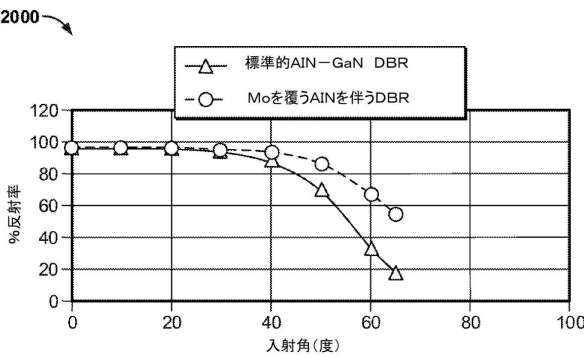


FIG. 20

10

20

30

40

50

【図 21】

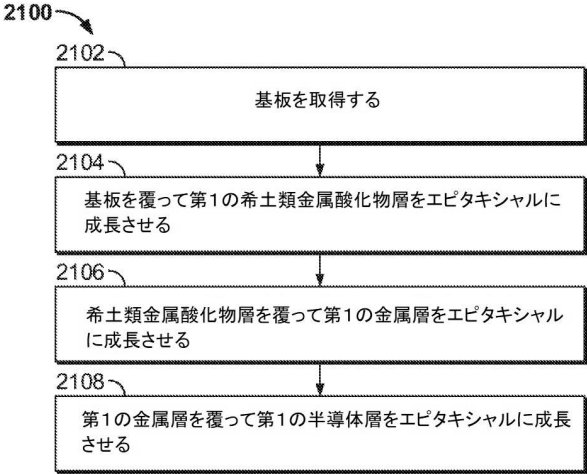


FIG. 21

10

20

30

40

50

フロントページの続き

弁護士 山本 健策

(72)発明者 ペルゼル, ロドニー

アメリカ合衆国 ペンシルベニア 18015, ベツレヘム, テクノロジー ドライブ 119,
アイキューイーーペンシルベニア

(72)発明者 クラーク, アンドリュー

アメリカ合衆国 カリフォルニア 94040, マウンテン ビュー, プレストン ドライブ 192

(72)発明者 ダルジス, リーティス

アメリカ合衆国 ノースカロライナ 27409, グリーンズボロ, ガリモア デイリー ロード
494, アイキューイーーノースカロライナ

(72)発明者 チン, パトリック

台湾 30078 シンチュー, シンチュー サイエンス パーク, リーシン ロード, ナンバー
2-1, アイキューイー ケーシー, エルエルシー

(72)発明者 レビー, マイケル

アメリカ合衆国 アリゾナ 85178, アパッチ ジャンクション, ピー. オー. ボックス 6
237

審査官 佐藤 靖史

(56)参考文献 米国特許出願公開第2013/0062610 (US, A1)

特開2016-100592 (JP, A)

特表2016-515299 (JP, A)

特開2004-006722 (JP, A)

特開2015-162905 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/28

H01L 21/20