

(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2005-129943

(P2005-129943A)

(43) 公開日 平成17年5月19日(2005.5.19)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 21/3065

F I

H01L 21/302 105A

H01L 21/302 301S

テーマコード(参考)

5FO04

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2004-305978 (P2004-305978)
 (22) 出願日 平成16年10月20日(2004.10.20)
 (31) 優先権主張番号 692772
 (32) 優先日 平成15年10月24日(2003.10.24)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 399117121
 アジレント・テクノロジーズ・インク
 AGILENT TECHNOLOGIE
 S, INC.
 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
 ト ページ・ミル・ロード 395
 395 Page Mill Road
 Palo Alto, Californi
 a U. S. A.

(74) 代理人 100105913
 弁理士 加藤 公久

(72) 発明者 ローラ・ウィルズ・ミルカミリ
 アメリカ合衆国カリフォルニア州サノル、
 キルカレ・ロード2144

最終頁に続く

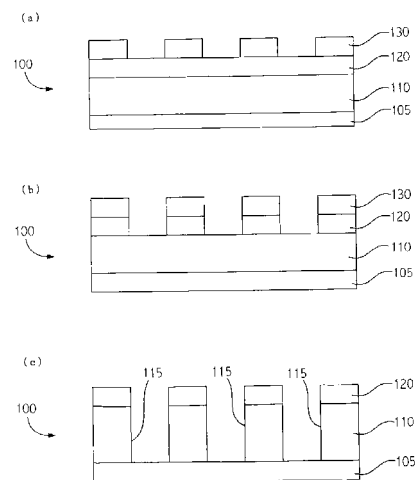
(54) 【発明の名称】 電気光学素子のための III-V 族ベースの化合物による側壁にエッチングを施すための方法

(57) 【要約】

【課題】 プラズマを用いた高アスペクト比のエッチングを実現するための改良された方法を提供する。

【解決手段】 エッチング方法は、 III-V 族ベースの化合物をエッチングするための方法であって、 III-V 族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、 約 2 ミリトル乃至 20 ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、 III-V 族ベースの化合物及びマスクを入れるステップと、 HBr、 HI、 及び、 IBr から選択された第 1 のガスをリアクタ内に送り込むステップと、 BCl₃ の第 2 のガスをリアクタに送り込むステップと、 III-V 族ベースの化合物を第 1 のガス及び第 2 のガスを含むガス・プラズマにさらして、 平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III - V 族ベースの化合物をエッチングするための方法であって、
 前記 III - V 族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、
 約 2 ミリトル乃至 20 ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記 III - V 族ベース
 の化合物及び前記マスクを入れるステップと、
 HBr、HI、及び、IBr から選択された第 1 のガスを前記リアクタ内に送り込むス
 テップと、
 BCl₃ の第 2 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、
 前記 III - V 族ベースの化合物を前記第 1 のガス及び前記第 2 のガスを含むガス・プ
 ラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する方
 法。 10

【請求項 2】

前記 III - V 族ベースの化合物がインジウムを含むことを特徴とする、請求項 1 に記
 載の方法。

【請求項 3】

前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチング・システムを用いて発生させられる
 ことを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチングと誘導結合プラズマの組み合わせシ
 ステムを用いて発生させられることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。 20

【請求項 5】

第 1 の高周波発生器が、約 0 乃至 200 ワットの範囲で動作させられ、第 2 の高周波発
 生器が、約 50 乃至 800 ワットの範囲で動作させられることを特徴とする、請求項 4 に
 記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 のガスの濃度が、約 10 容量パーセント乃至約 75 容量パーセントの範囲であ
 ることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 2 のガスの濃度が、約 5 容量パーセント乃至約 75 容量パーセントの範囲である
 ことを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。 30

【請求項 8】

さらに、CH₄ 及び H₂ を前記リアクタに送り込むステップを有することを特徴とする
 、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記 CH₄ 対前記 H₂ の比が、5 : 100 乃至 70 : 30 の範囲内であることを特徴と
 する、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記 III - V 族ベースの化合物が約 60 の初期温度まで加熱されることを特徴とす
 る、請求項 1 に記載の方法。 40

【請求項 11】

III - V 族ベースの化合物をエッチングするための方法であって、
 前記 III - V 族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、
 約 2 ミリトル乃至 20 ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記 III - V 族ベース
 の化合物及び前記マスクを入れるステップと、
 HBr、HI、及び、IBr から選択された第 1 のガスを前記リアクタ内に送り込むス
 テップと、
 BCl₃ の第 2 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、
 CH₄ の第 3 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、
 H₂ の第 4 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、 50

前記 I I I - V 族ベースの化合物を前記第 1 のガス、第 2、第 3、及び、第 4 のガスを含むガス・プラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する方法。

【請求項 1 2】

前記 I I I - V 族ベースの化合物がインジウムを含むことを特徴とする、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチング・システムを用いて発生させられることを特徴とする、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチングと誘導結合プラズマの組み合わせシステムを用いて発生させられることを特徴とする、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

第 1 の高周波発生器が、約 0 乃至 2 0 0 ワットの範囲で動作させられ、第 2 の高周波発生器が、約 5 0 乃至 8 0 0 ワットの範囲で動作させられることを特徴とする、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記第 1 のガスの濃度が、約 1 0 容量パーセント乃至約 7 5 容量パーセントの範囲であることを特徴とする、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記第 2 のガスの濃度が、約 5 容量パーセント乃至約 7 5 容量パーセントの範囲であることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記第 3 のガス対前記第 4 のガスの比が、5 : 1 0 0 乃至 7 0 : 3 0 の範囲内であることを特徴とする、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 9】

I I I - V 族ベースの化合物をエッチングするための方法であって、
前記 I I I - V 族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、
約 2 ミリトル乃至 2 0 ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記 I I I - V 族ベースの化合物及び前記マスクを入れるステップと、

V I I 族のガス種から選択された第 1 のガスを前記リアクタ内に送り込むステップと、
B C l₃ の第 2 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、
前記 I I I - V 族ベースの化合物を前記第 1 のガス及び前記第 2 のガスを含むガス・プラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する方法。

【請求項 2 0】

I I I - V 族ベースの化合物にエッチングするための方法であって、
前記 I I I - V 族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、
約 2 ミリトル乃至 2 0 ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記 I I I - V 族ベースの化合物及び前記マスクを入れるステップと、

B C l₃ の第 1 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、
C H₄ の第 2 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、
H₂ の第 3 のガスを前記リアクタに送り込むステップと、
前記 I I I - V 族ベースの化合物を前記第 1、第 2、第 3、及び、第 4 のガスを含むガス・プラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する方法。

【請求項 2 1】

前記第 2 のガス対前記第 3 のガスの比が約 2 : 1 であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0001】

III-V化合物の平滑な側壁に対するエッチングは、光学性能のために重要である。電気光学素子における散乱損失は、側壁の粗さに比例する。従って、導波路、マイクロディスク共振器、フォトニック結晶導波路、及び、フォトニック結晶共振器のようなデバイスの性能は、側壁の粗さの低減によって左右される。InP及びGaAsの単一モード・リッジ型導波路は、一般に、導波路表面からの散乱損失が伝搬損失の大きい成分になるので、単一モード性能を維持するのに、ほぼ $0.5\mu\text{m}$ ほどの寸法を必要とする。低損失の導波路を得るため、InPのようなIII-V族化合物に施されるエッチングに関する大部分の研究は、標準的な反応性イオン・エッチング(RIE)・システムにおける化学製品 $\text{CH}_4:\text{H}_2$ に集中している。標準的なRIEにおいて得られる側壁の特徴は、側壁が傾斜しているという点にある。電気光学素子には、素子の性能を向上させるのに、極めて垂直性の高い側壁の幾何学形状を必要とするものもある。例えば、フォトニック結晶格子の場合、素子の性能向上のため、側壁の幾何学形状の垂直性を極めて高くして、大きい光学的バンド・ギャップが得られるようにすることが重要である。従って、幾何学形状の垂直性が極めて高く、平滑な側壁が得られるようにするエッチング化学製品を用いることができるのが望ましい。

10

【0002】

誘導結合プラズマ(ICP)・エッチング・システムによれば、活性種の濃度が増すため、大部分の材料について、より垂直性の高いエッチングが生じる。しかし、化学製品の選択も、高アスペクト比のエッチングを実現するのに重要な役割を果たす。一般に、InPのエッチングには、 $\text{CH}_4:\text{H}_2$ をベースの化学製品が用いられるが、 $\text{CH}_4:\text{H}_2$ をベースにした化学製品は、極めてアスペクト比の高いエッチングが困難である。塩素は反応性が高いので、高アスペクト比のエッチングを実現するのに、塩素をベースにした化学製品を利用することには問題がある。Mirkarimiによる最新の研究によって示されるように、化学製品 $\text{HBr}:\text{CH}_4:\text{H}_2$ を利用して、III-V族化合物に深いエッチングを実現するのが有効である。しかし、化学製品 $\text{HBr}:\text{CH}_4:\text{H}_2$ を利用する場合、InGaAsPのような、四元組成をなすエッチングされたIII-V族構造の側壁は、粗い側壁を示す。

20

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

プラズマを用いた高アスペクト比のエッチングを実現するための改良された方法を提供することをその目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0004】

BCl_3 を添加化学製品として用いると、平滑な側壁と共に、高アスペクト比のエッチングが得られることになる。 BCl_3 の添加物によって、エッチングを施される側壁及び他の表面の平滑性が向上する。狭い導波路における光学損失は、一般に、 BCl_3 の添加によって10分の1に低減し、標準的な $\text{CH}_4:\text{H}_2$ ベースの化学製品を利用した35nm/分のエッチング速度に比べると、一般に、370nm/分のエッチング速度を実現することが可能である。

40

【0005】

即ち、本発明は、III-V族ベースの化合物をエッチングするための方法であって、前記III-V族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、約2ミリトル乃至20ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記III-V族ベースの化合物及び前記マスクを入れるステップと、 HBr 、 HI 、及び、 IBr から選択された第1のガスを前記リアクタ内に送り込むステップと、 BCl_3 の第2のガスを前記リアクタ内に送り込むステップと、前記III-V族ベースの化合物を前記第1のガス及び前記第2のガスを含むガス・プラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有す

50

る方法を提供する。

【0006】

好ましくは、前記 I I I - V 族ベースの化合物がインジウムを含む。

【0007】

好ましくは、前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチング・システムを用いて発生させられる。

【0008】

好ましくは、前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチングと誘導結合プラズマの組み合わせシステムを用いて発生させられる。

【0009】

好ましくは、第1の高周波発生器が、約0乃至200ワットの範囲で動作させられ、第2の高周波発生器が、約50乃至800ワットの範囲で動作させられる。

10

【0010】

好ましくは、前記第1のガスの濃度が、約10容量パーセント乃至約75容量パーセントの範囲である。

【0011】

好ましくは、前記第2のガスの濃度が、約5容量パーセント乃至約75容量パーセントの範囲である。

【0012】

好ましくは、さらに、 CH_4 及び H_2 を前記リアクタに送り込むステップを有する。

20

【0013】

好ましくは、前記 CH_4 対前記 H_2 の比が、5 : 100 乃至 70 : 30 の範囲内である。

【0014】

好ましくは、前記 I I I - V 族ベースの化合物が約60 の初期温度まで加熱される。

【0015】

さらに本発明は、I I I - V 族ベースの化合物をエッチングするための方法であって、前記 I I I - V 族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、約2ミリトル乃至20ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記 I I I - V 族ベースの化合物及び前記マスクを入れるステップと、 HBr 、 HI 、及び、 IBr から選択された第1のガスを前記リアクタ内に送り込むステップと、 BCl_3 の第2のガスを前記リアクタに送り込むステップと、 CH_4 の第3のガスを前記リアクタに送り込むステップと、 H_2 の第4のガスを前記リアクタに送り込むステップと、前記 I I I - V 族ベースの化合物を前記第1のガス、第2、第3、及び、第4のガスを含むガス・プラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する方法を提供する。

30

【0016】

好ましくは、前記 I I I - V 族ベースの化合物がインジウムを含む。

【0017】

好ましくは、前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチング・システムを用いて発生させられる。

40

【0018】

好ましくは、前記ガス・プラズマが、反応性イオン・エッチングと誘導結合プラズマの組み合わせシステムを用いて発生させられる。

【0019】

好ましくは、第1の高周波発生器が、約0乃至200ワットの範囲で動作させられ、第2の高周波発生器が、約50乃至800ワットの範囲で動作させられる。

【0020】

好ましくは、前記第1のガスの濃度が、約10容量パーセント乃至約75容量パーセントの範囲である。

【0021】

50

好ましくは、前記第2のガスの濃度が、約5容量パーセント乃至約75容量パーセントの範囲とされる。

【0022】

好ましくは、前記第3のガス対前記第4のガスの比が、5:100乃至70:30の範囲内とされる。

【0023】

さらに、本発明は、III-V族ベースの化合物をエッチングするための方法であって、前記III-V族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、約2ミリトル乃至20ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記III-V族ベースの化合物及び前記マスクを入れるステップと、VII族のガス種から選択された第1のガスを前記リアクタ内に送り込むステップと、 BCl_3 の第2のガスを前記リアクタに送り込むステップと、前記III-V族ベースの化合物を前記第1のガス及び前記第2のガスを含むガス・プラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する方法を提供する。

10

【0024】

さらに、本発明は、III-V族ベースの化合物にエッチングするための方法であって、前記III-V族ベースの化合物上にマスクを形成するステップと、約2ミリトル乃至20ミリトルの圧力がかかるリアクタ内に、前記III-V族ベースの化合物及び前記マスクを入れるステップと、 BCl_3 の第1のガスを前記リアクタに送り込むステップと、 CH_4 の第2のガスを前記リアクタに送り込むステップと、 H_2 の第3のガスを前記リアクタに送り込むステップと、前記III-V族ベースの化合物を前記第1、第2、第3、及び、第4のガスを含むガス・プラズマにさらして、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングするステップとを有する方法を提供する。

20

【0025】

好ましくは、前記第2のガス対前記第3のガスの比が約2:1である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

本発明の実施態様の1つによれば、III-V族のエピタキシャル層110上またはサンプル100のIII-V族の基板105上に、一般に、 SiO_2 または Si_3N_4 である、適正なマスク層120(図1(a)参照)が成長させられる。層130は、フォトレジストまたは電子ビーム・レジストである。典型的なIII-V族材料は、Al、Ga、In、及び、BのようなIII族元素と、N、P、As、及び、SbのようなV族元素の組み合わせのものである。本発明によれば、 SiO_2 または Si_3N_4 のマスク120材料または他の同様のマスク材料を利用すると、マスク材料とIII-V族材料との間にエッチング選択性が得られる。 InP/SiO_2 のエッチング速度比は、エッチング条件によって決まる20~50の範囲にわたるが、これはきわめて広い。塩素 Cl_2 をベースにした化学製品では、こうしたタイプのエッチング比は得られない。図1(b)の場合、マスク層120は、直接書き込み電子ビーム、標準接触リソグラフィ、または、一般に、ほぼ1 μm 程度の所望の特徴サイズに適した他のリソグラフィといった、リソグラフィ技法によって層130上に形成される。一般に、所望のエッチング・パターンは、RIEシステムにおける CHF_3 のように、ドライ・エッチング技法を用いてマスク層120に転写される。次に、RIEまたは誘導結合プラズマ(ICP)・システムを用いて、サンプル100にエッチングが施され、側壁115が平滑な、高アスペクト比の構造が生じることになる。図1(c)の場合、高圧(400ミリトル(1トル=1/760気圧))の O_2 プラズマ洗浄が後続する、溶剤浴を利用して、フォトレジスト層130が除去される。

30

40

【0027】

本発明の実施態様の1つによれば、次に、リソグラフィによって形成された特徴が、 CH_4 、 H_2 、 HBr 、及び、 BCl_3 を含む化学製品を用いて、III-V族層110またはIII-V族基板105に転写される。 CH_4 、 H_2 、 HBr 、及び、 BCl_3 を含む化学製品によれば、側壁115にパッシベーション層を形成することによって、所望の

50

平滑なエッチングが可能になる。図1の側壁115の平滑性は、走査型電子顕微鏡検査によって推定可能であり、これは、さらに、伝搬損失測定にも影響する。本発明によれば、HBrの代わりに、HIまたはIBr、あるいは、VII族ガス種(Br、F、I)の何らかの組み合わせを用いることも可能であるという点に留意されたい。ヨウ素(I)は、一般に、臭素(Br)と同様の反応をして、例えば、塩素(Cl)と比べると揮発性の低い、インジウム(In)を含む塩になり、再び、側壁115にパッシベーション層を形成する。さらに、本発明によれば、H₂及びCH₄と共に、BCl₃を利用することによって、CH₄対H₂の比が、それぞれ、例えば、2:1といったように、1:1を超えるようにすることが可能である。

【0028】

本発明によれば、エッチング化学製品は、一般に、HBr:CH₄:H₂:BCl₃の組み合わせである。本発明による典型的な組み合わせでは、HBr:CH₄:H₂の比は、約30:5:5に設定されるが、BCl₃は、約50容量%まで調整することが可能である。一般に、RIEの代わりにICPを利用すると、平滑性が向上するが、一般には、RIEだけを利用して、表面粗さの大幅な低減を実現することが可能である。

10

【0029】

本発明による実施態様の1つでは、HBr:CH₄:H₂の比は、約30:5:5に設定されるが、BCl₃は、約33容量%まで調整することが可能である。一般に、この実施態様の場合、側壁115の表面粗さと共に、伝搬損失も大幅に低減する。図2のグラフ200から明らかなように、BCl₃の濃度が約33容量%に近づくと、伝搬損失が低減し、BCl₃の濃度が約33容量%を超えると、側壁115の表面粗さが増す結果として、伝搬損失は増大する。

20

【0030】

図3を参照すると、本発明によるリアクタ305の典型的な値については、その高周波(RF)発生器310が、一般に、約13.56MHz及び0~200ワットの範囲で動作し、一方、RF発生器320は、一般に、約2MHz及び50~800ワットの範囲で動作し、リアクタ305の圧力は一般に2~20ミリの範囲である。サンプル100は、ヒータ350上に配置される。InPベースの材料の場合、温度は60に設定されたが、実際の温度は、エッチング中にさらに高くなる可能性がある。温度設定は、エッチングを施される材料によって決まり、調査を受けた他のIII-V族材料については、さら

30

【0031】

RF発生器320は、誘導結合プラズマ(ICP)電力を供給することによって、イオン化種の数を増加させ、図4(a)及び図4(b)から明らかなように、側壁115に対する損傷を軽減して、異方性エッチングを可能にする。図4(a)には、純粋なRIEエッチングが施されることになる、RF発生器310だけを利用した場合の、側壁115の電子顕微鏡写真が示されている。BCl₃:HBr:H₂:CH₄の比は、3:32:4:4に設定され、BCl₃は、7容量%に設定されている。図4(b)には、RF発生器310とRF発生器320の両方が用いられるように、ICPモードを含めて、リアクタ305を利用した場合の、大幅に平滑性を増した側壁115の電子顕微鏡写真が示されている。BCl₃:HBr:H₂:CH₄の比は、3:32:4:4に設定され、BCl₃は、7容量%に設定されている。

40

【0032】

本発明による実施態様の1つでは、RF発生器310は、リアクタ305内の約5ミリの典型的な圧力において、一般に、約100ワットに設定されるが、RF発生器320は、一般に、約400ワットに設定される。しかし、これらの条件下において、有効なDCバイアスは、約350ボルトである。いくつかの光学用途では、このDCバイアス値が高すぎて、入射イオンがかなり付勢されるため、エッチング損傷を生じる可能性がある。DCバイアスは、一般に、RF発生器310を75ワット未満の値にまで低下させることによって、低下させることが可能である。RF発生器1の設定値が低下すると、DCバ

50

イアスが低下し、同時に、平滑な側壁構造が保持される。

【0033】

本発明の解説は、特定の実施態様に関連して行われたが、当該技術者には言うまでもないが、以上の解説を考慮すれば、多くの代替、修正、及び、変形実施態様が明らかになるであろう。従って、本発明は、付属の請求項の精神及び範囲内にある、他のこうした代替、修正、及び、変形実施態様の全てを包含することを意図したものである。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】(a)から(c)は、本発明によって、平滑で高アスペクト比の側壁にエッチングを施すためのステップを示す図である。

【図2】本発明によるエッチングにおける伝搬損失対BCl₃の容量パーセントの変化を示すグラフである。

【図3】本発明によるRIE及びICPモードが可能なリアクタを示す図である。

【図4】(a)から(b)は、本発明によって、ICPモードを加える効果を示す図である。

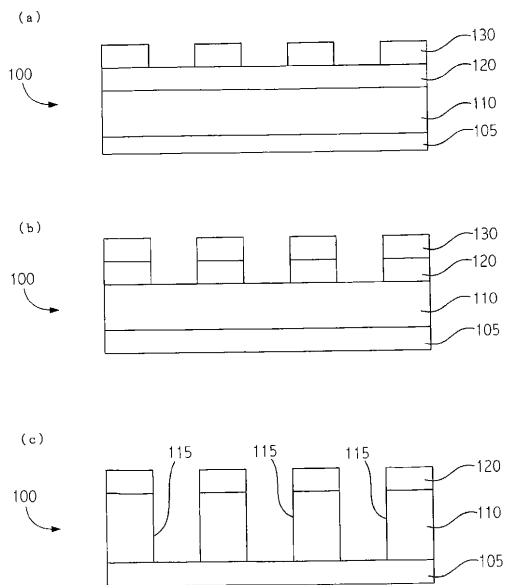
【符号の説明】

【0035】

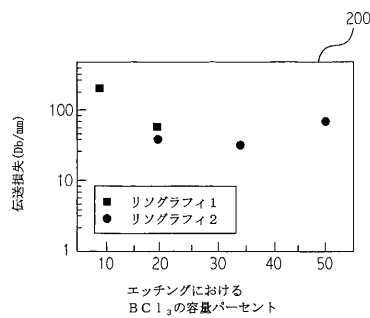
305 リアクタ

310, 320 高周波発生器

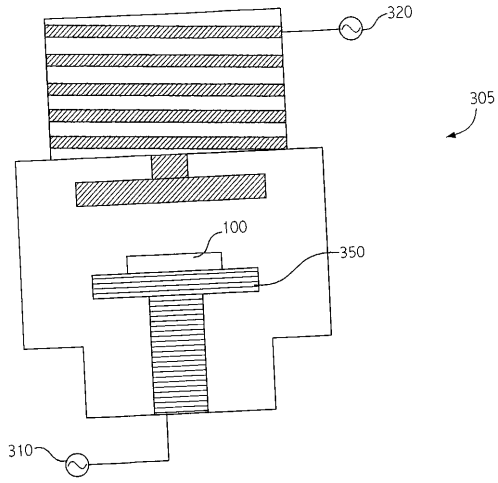
【図1】



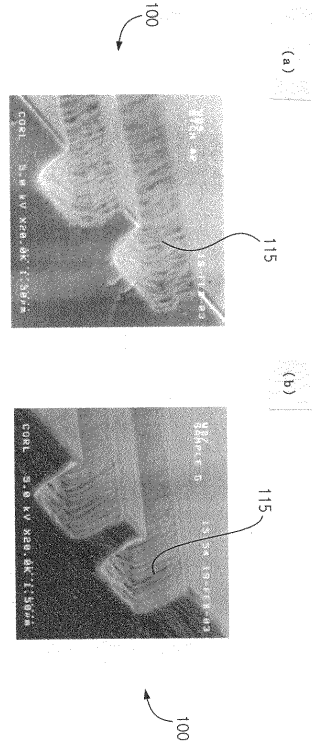
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 カイ・チュン・チョー

アメリカ合衆国カリフォルニア州サン・ノゼ、レイ・アベニュー 2 9 3 7

Fターム(参考) 5F004 AA05 BA04 CA02 CA03 DA00 DA11 DA16 DA24 DB20 DB22
EB08