(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2012-37887
(P2012-37887A)
(43)公開日　平成24年2月23日(2012.2.23)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
G02B	6/122	(2006.01)	G02B	6/12	A	2H048
G02B	5/28	(2006.01)	G02B	5/28		2H147
G02B	6/12	(2006.01)	G02B	6/12	H	

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 21 頁）

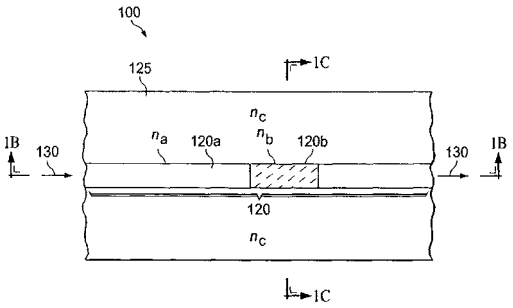
(21)出願番号　特願2011-171439 (P2011-171439)
(22)出願日　平成23年8月5日 (2011.8.5)
(31)優先権主張番号　12/852,371
(32)優先日　平成22年8月6日 (2010.8.6)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　508243639
エルエスアイ　コーポレーション
アメリカ合衆国　９５０３５　カリフォルニア，ミルピタス，バーバー　レーン　１６２１
(74)代理人　100094112
弁理士　岡部　讓
(74)代理人　100064447
弁理士　岡部　正夫
(74)代理人　100106183
弁理士　吉澤　弘司
(74)代理人　100128657
弁理士　三山　勝巳
(74)代理人　100160967
弁理士　▲濱▼口　岳久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】形態操作による半導体光路の修正

(57)【要約】
【課題】形態操作による半導体光路の修正を提供する。
【解決手段】光デバイスは、基板と、基板の上に位置付けされた半導体層とを含む。光路は、導波路コア領域をさらに含む半導体層を含む。コア領域は、第１の型の形態および第１の屈折率を有する第１の半導体領域を含む。第１の半導体領域は、第２の型の形態と、第１の屈折率とは異なった第２の屈折率とを有する第２の半導体領域に隣接して位置付けされている。
【選択図】図１Ａ



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板と、
前記基板の上に位置付けされた光路とを備え、前記光路が、導波路コア領域を含んだ半導体層を含み、前記コア領域が、第１の型の形態および第１の屈折率を有する第１の半導体領域を有し、前記第１の半導体領域が、第２の型の形態と前記第１の屈折率とは異なる第２の異なる屈折率とを有する、前記半導体層の第２の半導体領域に隣接して位置付けされる、光デバイス。
【請求項２】
前記第１の半導体領域は第１の同素体状態を有し、前記第２の半導体領域は前記第１の同素体状態とは異なった第２の同素体状態を有する、請求項１に記載の光デバイス。
【請求項３】
前記第１の型の形態が非晶質であり、前記第２の型の形態は多結晶である、請求項１に記載の光デバイス。
【請求項４】
前記導波路コア領域は共振光路の一部である、請求項１に記載の光デバイス。
【請求項５】
前記導波路コア領域を加熱するように構成された加熱素子をさらに備える、請求項１に記載の光デバイス。
【請求項６】
光デバイスを形成する方法であって、
入射光信号を受け取るように構成可能な半導体材料の層を上に有する基板を提供する事を含み、前記半導体材料の層は第１の型の形態を有する前記半導体材料の領域を含み、さらに、
前記領域を、前記第１の型とは異なった第２の型の形態に転化させ、それにより、前記領域を含む光路の伝播特性を変化させる、ことを含む方法。
【請求項７】
前記第１の型の形態は前記半導体材料の第１の同素体であり、前記第２の型の形態は、前記第１の同素体とは異なる、前記半導体材料の第２の同素体である、請求項６に記載の方法。
【請求項８】
前記第１の型の形態は非晶質であり、前記第２の型の形態は多結晶である、請求項６に記載の方法。
【請求項９】
前記領域が導波路リングの光路中に位置付けされる、請求項６に記載の方法。
【請求項１０】
前記転化が前記領域の光照射に起因する、請求項６に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この出願は、参照して本明細書に組み込まれこの出願と共に本願の譲受人に譲渡された「Ａｌｌｏｔｒｏｐｉｃ Ｃｈａｎｇｅ ｉｎ Ｓｉｌｉｃｏｎ Ｉｎｄｕｃｅｄ ｂｙ Ｅｌｅｃｔｒｏｍａｇｎｅｔｉｃ Ｒａｄｉａｔｉｏｎ ｆｏｒ Ｒｅｓｉｓｔａｎｃｅ Ｔｕｎｉｎｇ ｏｆ Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｃｉｒｃｕｉｔ」という名称の、２００８年９月１９日にＦｒａｎｋ Ａ．Ｂａｉｏｃｃｈｉ等によって出願された国際出願ＰＣＴ／ＵＳ０８／７６９７６号と、参照して本明細書に組み込まれこの出願と共に本願の譲受人に譲渡された「Ｍｏｄｉｆｉｃａｔｉｏｎ ｏｆ Ｌｏｇｉｃ ｂｙ Ｍｏｒｐｈｏｌｏｇｉｃａｌ Ｍａｎｉｐｕｌａｔｉｏｎ ｏｆ ａ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ Ｒｅｓｉｓｔｉｖｅ Ｅｌｅｍｅｎｔ」という名称の、Ｊｏｈｎ Ｄｅｌｕｃｃａ等によって出願された米国特許出願第１２／８５２，３７８号に関係している。

【０００２】
この出願は、一般的に、光デバイスに向けられ、より詳細には、光路の構成に向けられている。
【背景技術】
【０００３】
オプトエレクトロニクス・デバイスおよびフォトニック・デバイスは、光信号が伝わる光路を含む。屈折率（ｎ）および消衰係数（ｋ）などのこの光路の光学特性は、信号が伝播する速度と、伝播に起因する損失を決定する。デバイスの動作性能特性は、今度は、伝播速度および損失に依存している。
【発明の概要】
【課題を解決するための手段】
【０００４】
一実施形態は、基板と、基板の上に位置付けされた光路とを含む光デバイスを実現する。光路は、導波路コア領域を含んだ半導体層を含む。コア領域は、第１の型の形態および第１の屈折率を有する第１の半導体領域を備える。第１の半導体領域は、第２の型の形態と、第１の屈折率とは異なった第２の屈折率とを有する、半導体層の第２の半導体領域に隣接して位置付けされている。
【０００５】
他の実施形態は、光デバイスを形成する方法を実現する。この方法は、入射光信号を受け取るように構成することができる半導体材料層が上に位置付けされた基板を実現することを含む。半導体材料層は、第１の型の形態を有する半導体材料の１つ領域を含む。この領域は、第１の型とは異なった第２の型の形態に転化される。この転化は、その領域を含む光路の伝播特性を変化させる。
【０００６】
ここで、添付の図面に関連して解釈される下記の説明を参照する。
【図面の簡単な説明】
【０００７】
【図１Ａ】第１および第２の形態の半導体材料を含む光路の実施形態を示す図である。
【図１Ｂ】第１および第２の形態の半導体材料を含む光路の実施形態を示す図である。
【図１Ｃ】第１および第２の形態の半導体材料を含む光路の実施形態を示す図である。
【図２Ａ】導波路コア領域が第１の形態および第１の屈折率を有し、かつ導波路クラッド領域が第２の異なる形態およびより小さな屈折率を有する半導体層の実施形態を示す図である。
【図２Ｂ】導波路コア領域が第１の形態および第１の屈折率を有し、かつ導波路クラッド領域が第２の異なる形態およびより小さな屈折率を有する半導体層の実施形態を示す図である。
【図２Ｃ】導波路コア領域が第１の形態および第１の屈折率を有し、かつ導波路クラッド領域が第２の異なる形態およびより小さな屈折率を有する半導体層の実施形態を示す図である。
【図３】光照射後の半導体層を示す顕微鏡写真図である。
【図４】電気的ストレスにさらされた後のイーヒューズを示す顕微鏡写真図である。
【図５Ａ】図４のイーヒューズが受けたのと同様な電気的ストレスにさらされた後のイーヒューズの断面を示す顕微鏡写真図である。
【図５Ｂ】図４のイーヒューズが受けたのと同様な電気的ストレスにさらされた後のイーヒューズの断面を示す顕微鏡写真図である。
【図６】ｃ－Ｓｉ、ａ－Ｓｉ、およびｐ－Ｓｉの屈折率を波長の関数として示す図である。
【図７】光加熱によってそれの一部が修正される光共振器を示す図である。
【図８】電気加熱によって光共振器の一部を修正するように構成されたイーヒューズを備える光共振器を示す図である。

【図９】イーヒューズと、光路と、加熱されるように構成された交差部分とを示す図である。
【図１０】光加熱によってそれの一部が修正される干渉計を示す図である。
【図１１】電気加熱によって干渉計の一部を修正するように構成されたイーヒューズを備える干渉計を示す図である。
【図１２Ａ】半導体層の一部の形態を制御して導波路コア領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１２Ｂ】半導体層の一部の形態を制御して導波路コア領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１２Ｃ】半導体層の一部の形態を制御して導波路コア領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１２Ｄ】半導体層の一部の形態を制御して導波路コア領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１２Ｅ】半導体層の一部の形態を制御して導波路コア領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１３Ａ】半導体層の一部の形態を制御して導波路クラッド領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１３Ｂ】半導体層の一部の形態を制御して導波路クラッド領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１３Ｃ】半導体層の一部の形態を制御して導波路クラッド領域を形成することによって、基板の上に光路を画定することを示す図である。
【図１４】光デバイス、例えば図１Ａ～１Ｃの光デバイス１００または図２Ａ～２Ｃの光デバイス２００を形成するための本開示の方法を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【０００８】
この開示は、半導体導波路構造の光学特性を修正してこの導波路構造を含む光デバイスの動作を部分的に変えることができるという認識から利益を得る。いくつかの型の導波路は、ブラッグ回折格子のような光素子を形成するように、例えばレーザ照射を使用して修正された。しかし、そのような修正は、一般に、光ファイバ、$LiNbO_3$、およびガラスのような非半導体光導波路に限定されていた。本明細書の様々な実施形態で説明されるように半導体導波路構造を修正できることで、例えば、半導体導波路を含む光デバイスの動作特性を手直しする手段、修復する手段、または同調させる手段を実現する。
【０００９】
本開示は、光導波路に半導体材料を使用する光デバイスの様々な実施形態を提供する。実施形態は、様々な半導体形態、すなわち、バルク結晶半導体、例えば結晶半導体格子の一部または延長部分、またはエピタキシャル層と、例えば数半導体結合距離より短い周期性を有する非晶質半導体と、例えば互いに任意の向きを持った数十（例えば、約５０）を超える半導体結合距離に及ぶ複数の結晶ドメインを有する多結晶半導体とに言及する可能性がある。
【００１０】
本開示は、限定でなくＳｉ、Ｇｅ、ＧａＡｓ、ＩｎＰ、ＳｉＣ、ＩｎＧａＰ、ＩｎＧａＡｓおよびＩｎＡｌＧａＰなどの任意の元素または化合物半導体の各形態型を用いて実施される実施形態を考えている。半導体は、ドープされていることがあり、または真性であることがある。様々な実施形態は、例の半導体材料としてＳｉを使用して説明される。例の材料としてのＳｉのそのような使用は、説明された実施形態をＳｉに限定しない。様々な実施形態は、非晶質Ｓｉをａ－Ｓｉ、結晶Ｓｉをｃ－Ｓｉ、および多結晶Ｓｉをｐ－Ｓｉと呼ぶことがある。当業者は、Ｓｉのこれらの状態を参照して説明される原理を、本開示の範囲内で他の半導体に拡張できることを理解するであろう。
【００１１】
本明細書で使用されるときに、同素体は、一般的な結合特性によって特徴付けられる半

導体材料の状態を意味する。したがって、バルク結晶形態と多結晶形態は、半導体原子が結晶配列をなして結合されているので、両方とも同じ同素体である。非晶質形態は、半導体結合が一般に結晶のように十分に秩序よく配列されていないので、違った同素体である。様々な実施形態および特許請求の範囲は、第１の型の同素体および第２の型の同素体に言及することがある。第１および第２の型の同素体は、互いに相容れない。したがって、第１の型の同素体は、結晶形態（バルク結晶または多結晶）または非晶質形態のどちらかのことを言うことがあるが、一方で、そのとき第２の型の同素体は、第１の型の同素体でない同素体のことを言う。

【００１２】

本明細書で説明される様々な実施形態は、非晶質、多結晶およびバルク結晶から選ばれた形態を持つことができる半導体層の１つまたは複数の領域を含む。例えば、限定でなく、シリコン層の領域は、非晶質シリコン（ａ－Ｓｉ）、多結晶シリコン（ｐ－Ｓｉ）、またはバルク結晶シリコン（ｃ－Ｓｉ）であることがある。説明および特許請求の範囲は、第１の型の形態、第２の型の形態、および第３の型の形態に言及することがある。第１、第２および第３の形態型の各々は、非晶質、多結晶またはバルク結晶のどれか１つである可能性がある。しかし、単一の実施形態または請求項の中で、前述の形態のただ１つだけが、例えば非晶質、多結晶またはバルク結晶が、第１、第２および第３の型の各々に一意的に割り当てられることがある。したがって、例えば、第１の型の形態は、非晶質、多結晶またはバルク結晶のどれかであることがある。第２の型の形態は、残り２つの形態型のいずれかであることがある。第３の型の形態は、残りの割り当てられていない形態型である。

【００１３】

本明細書および特許請求の範囲で使用されるときに、半導体層は、基板の上の任意の均質な半導体層、およびこの均質な層から得られた半導体特徴を含む。半導体層は、追加の層が半導体材料であろうと他の材料であろうとも半導体層の上に形成された任意の追加の材料層を明確に除外する。したがって、例えば、処理ウェーハの上のエピタキシャル層は、エピタキシャル層から半導体特徴が形成されるのでたとえその特徴が異なる形態を有してもまたは不連続であっても、半導体層である。しかし、この均質層の上にある半導体領域または均質層から得られた特徴は、半導体層に含まれない。そのような除外された領域は、一般に、その除外された領域と下にある均質層または特徴との間の不連続な界面によって識別することができる。また、孤立した半導体特徴が半導体層から形成された後で追加された任意の半導体または他の特徴も半導体層から除外される。したがって、例えば、導波路コアのような孤立した特徴が半導体層から形成される場合には、導波路コアの上に、または導波路コアに隣接して堆積された材料は、たとえ導波路コアと同じレベルにあっても、半導体層の一部でない。

【００１４】

例示の半導体材料としてシリコンに焦点を合わせると、シリコン・フォトニック・ネットワークの動作中、電磁放射は、そのネットワークの様々な素子を通って伝播する。シリコンは、約１．３μｍから約６μｍの波長範囲のＥＭ放射に対して開かれた透過率特性（例えば、透過率≧５０％）を有する。したがって、この波長が、シリコン・フォトニクスで一般に使用される。しかし、１．３μｍよりも短い波長は、減衰器または短い伝播距離の場合などのいくつかの環境で有用であることがある。

【００１５】

前述の各形態は、一般に、複素屈折率特性（波長に依存する屈折率ｎおよび消衰係数ｋ）を有することがある。さらに、抵抗率のような電気特性は、形態ごとに異なることがある。例えば、１．１２μｍの波長で、ｃ－Ｓｉおよびａ－Ｓｉの屈折率は、公開された文献でそれぞれ３．５４および４．０９と報告されている。媒体中の光速は媒体の屈折率に依存するので、光信号は、ｃ－Ｓｉよりもａ－Ｓｉをより低速で伝わると考えられる。さらに以下で説明されるように、屈折率の差は、材料の形態を操作して導波路を形成するために、導波路の光路長を調整するために、または両方のために使用されることがある。

【００１６】
図１Ａ～１Ｃは、全体的に１００で表わされた光デバイスの平面図（図１Ａ）および断面図（図１Ｂおよび１Ｃ）を示す。デバイス１００は、フォトニクス・デバイス、例えば、光信号１３０の光学的処理を行うデバイスであることがある。デバイス１００は、限定でなく、光マルチプレクサ、デマルチプレクサ、光フィルタ、光共振器、光プロセッサ、光導波路、ミラー・アレイのような光ＭＥＭ（微小電気機械システム）デバイス、または他の同様な光学部品であることがあり、またはこれらを含むことがある。例示の実施形態は、様々な実施形態に出てくることがある光デバイスの素子の非限定の例として提供される。
【００１７】
基板１１０の上にコア領域１２０が位置付けされている。コア領域１２０は、光信号１３０を受け取るように構成することができる。基板１１０は、任意の適切な基板、例えばウェーハであることがある。基板１１０の材料は、シリコンまたはゲルマニウムのような半導体であることがあるが、必ずしも半導体である必要はない。例えば、ガラス、石英、またはサファイア基板が使用されることがある。
【００１８】
コア領域１２０は、均質な半導体層で形成されることがある。例えば、最初は一様な特性を持った連続した層である１つの層（図示されない）が、最初に、基板１１０の上に位置付けされることがある。いくつかの実施形態では、均質な層は、それの一部を選択的に除去することによって、コア領域１２０を形成するようにパターニングされることがある。他の実施形態では、コア領域１２０は、均質層の一部の形態特性および／または光学特性を本開示の範囲内の方法で部分的に変えることによって、形成されることがある。コア領域１２０は、光路の構成要素として、例えば平面導波路コアとして動作するように構成されることがある。クラッド領域１２５は、コア領域１２０に隣接して位置付けされる。
【００１９】
本明細書では、光路は、光信号１３０などの光信号を強制的に基板１１０の平面内で伝播させるように構成された固体媒体である。光路は、コア、例えばコア領域１３０およびクラッド、例えばクラッド領域１２５を含む。光信号は、一般に、コアとクラッドの界面で内部全反射してコアの方向に導かれる。しかし、本開示は、クラッドの屈折率がコアの屈折率よりも大きい実施形態を意図している。そのような実施形態には、例えば、光路が光信号を減衰させるように構成されている場合がある可能性がある。
【００２０】
クラッド領域１２５は、どんな特定の材料にも限定されない。クラッド領域１２５は、例えば、空気、シリコン酸化物、または半導体材料であることがあり、またはこれらを含むことがある。クラッド領域１２５が半導体材料であるとき、クラッド領域１２５は、コア領域１２０が形成された同じ材料層の一部であることがある。
【００２１】
いくつかの場合に、コア領域１２０の全ての側でコア領域１２０に隣接する媒体の屈折率は、コア領域１２０からの光エネルギーの喪失を最小限にするようにコア領域１２０の屈折率よりも小さいことが望ましいことがある。したがって、コア領域１２０よりも小さな屈折率を有する誘電体層１４０が、基板１１０とコア領域１２０の間に位置付けされて、したがってコア領域１２０に対して下のクラッドとして作用することがある。誘電体層１４０は、存在する場合には、セミコンダクタ・オン・インシュレータ（ＳＯＩ）基板に関連した酸化物層、熱酸化物、またはＣＶＤ酸化物であることがあり、または基板１１０、例えばサファイア・ウェーハであることがある。
【００２２】
コア領域１２０は、第１の型の形態および第１の屈折率n_aを有する領域１２０ａと、第２の型の形態および第２の屈折率n_bを有する領域１２０ｂとを含む。限定でなく、n_bがn_aよりも大きい実施形態を意図する。光信号１３０は、領域１２０ａを領域１２０ｂよりも高速で伝播する。コア領域１２０を通過する光信号１３０の伝播時間は、信号伝

播方向などのコア領域１２０の光路に沿った領域１２０ａと１２０ｂの相対的な長さに依存する。長さの任意の望ましい組合せの１つまたは複数の各領域１２０ａ、１２０ｂを、コア領域１２０を通って光信号１３０がとる経路に沿って位置付け可能である。

【００２３】

コア領域１２０が形成された半導体材料層の形態は、様々な実施形態で制御可能に修正することができる。この修正は、コア領域１２０の光学特性を変えるために行われることがある。以下でさらに説明されるように、様々な実施形態で、伝播特性を変えることは、伝播方向または伝播速度を変えること、またはコア領域１２０で生じる光信号１３０の減衰を変えることを含むことがある。コア領域１２０の伝播特性を変えることは、コア領域１２０に隣接する材料の形態を変えることを含むことがある。例えば、コア領域１２０に隣接する半導体層の一部の屈折率、例えばクラッド領域１２５の屈折率は、コア領域１２０から隣接するクラッド領域１２５に失われる光信号１３０の量を増加させるように、または減少させるように変えることができる。

【００２４】

図２Ａ～２Ｃは、全体的に２００で表わされた光デバイスの実施形態の平面図（図２Ａ）および断面図（図２Ｂ～２Ｃ）を示す。デバイス２００は、導波路２１０を含み、導波路２１０は、コア領域２１５およびクラッド領域２２０ａ、２２０ｂを含む。媒体２２５は、例えば、空気、酸化物、または半導体材料であることがある。いくつかの実施形態では、媒体２２５は、基板１１０の上に形成された連続した半導体材料層の一部であり、この半導体材料層から、コア領域２１５およびクラッド領域２２０ａおよび２２０ｂが形成されている。例示のデバイス２００では、コア領域２１５および媒体２２５は、屈折率n_1を有する。クラッド領域２２０ａ、２２０ｂは、屈折率$n_2 < n_1$を有し、したがって、光信号１３０の一部を導波路２１０に閉じ込める。

【００２５】

前に参照して組み込まれたＢａｉｏｃｃｈｉ等のＰＣＴ出願第ＰＣＴ／ＵＳ０８／７６９７６号（以後、「‘９７６出願」と呼ばれる）は、半導体層の同素体および／または形態の型を変える方法を開示している。その出願で説明された様々な実施形態では、可干渉性（レーザ）エネルギーが、半導体層の一部に集束されて、照射部分の部分的な溶融を引き起こすことがある。例えば、エネルギー照射線量および継続時間、焦点、および複数の照射が行われる時間によって、照射された半導体の非晶質または多結晶同素体の形成を引き起こす時間－温度プロファイルが決定されることがある。したがって、‘９７６出願で説明されているように、半導体、例えばシリコンのバルク結晶または多結晶部分の状態は、非晶質同素体に制御可能に変えられ、さらに次に多結晶同素体に制御可能に変えられることがある。この転化は、周囲の誘電体層または下にある基板を損傷することなしに行われることがある。

【００２６】

図３は、単結晶シリコン基板３１０を示し、その単結晶シリコン基板３１０の一部は、第１のパルス・パターンおよび／または照射条件を使用して基板３１０にレーザ光を照射することによって、非晶質領域３２０に転化された。非晶質領域３２０の一部は、今度は、第２のパルス・パターンおよび／または照射条件を使用して基板３１０にレーザ光を照射することによって、多結晶領域３３０に転化された。一般に、変化していない基板３１０、非晶質領域３２０および多結晶領域３３０各々は、光学特性が異なり、特に屈折率が異なっている。

【００２７】

１つの形態型から別の形態型への半導体材料の転化は、また、転化される半導体材料の一部を、適切な特性を有する電気的刺激を使用して加熱することによっても達成可能であることを、本開示は認める。この刺激は、例えば、転化が望ましい目標領域に所望のエネルギー量を所望の時間にわたって投入するように構成された時間プロファイルの電流であることがある。したがって、例えば図２Ａに戻って、クラッド領域２２０ａ、２２０ｂは、半導体材料の屈折率を第１のより高い値から第２のより低い値に制御可能に修正するこ

とによって、連続した半導体材料層から形成されることがある。‘９７６出願で説明された照射加熱の他に、いくつかの実施形態で、半導体材料の光学特性は、電気的刺激、例えば材料の一部を加熱するように構成された電流によって修正されることがある。

【００２８】

図４は、イーヒューズ４１０を図示する。イーヒューズ４１０は、荷電デバイス・モデル（ＣＤＭ）の静電放電（ＥＳＤ）事象の典型的な電気パルスをかけられた。例えば、そのような事象は、おおよそ10^6Ａ／cm^2の電流密度で約１ｎｓの時間にわたって加えられる５００Ｖの電圧を特徴とすることがある。イーヒューズ４１０は、プログラミングの目に見える証拠を表わさないが、電気的特性は、プログラミング、例えば抵抗の増加と一致している。このように、イーヒューズ４１０は、イーヒューズ４１０または周囲の構造の目に見える損傷なしに、物理的電気的に修正可能である。

【００２９】

図５Ａおよび５Ｂは、上で説明されたような電気的ストレスを加えた後の、イーヒューズ４１０の構造と似ているイーヒューズ５１０の構造のＴＥＭ顕微鏡写真図５００Ａ（低倍率）および５００Ｂ（高倍率）を示す。酸化物層５２０が、イーヒューズ５１０の上にある。最初ｐ－Ｓｉから形成されたイーヒューズ５１０は、今では、ｐ－Ｓｉ部分５３０とａ－Ｓｉ部分５４０を含んでいる。ａ－Ｓｉ部分５４０の形態を結晶から非晶質に変えたにもかかわらず、イーヒューズ５１０の寸法変化はほとんどまたは全く目に見えない。とりわけ、酸化物層５２０の損傷を示す証拠はない。

【００３０】

イーヒューズ４１０または周囲材料層の観察できる損傷がほとんどまたは全くない状態で、特性の観察された変化、例えば電気抵抗の変化が、様々な実施形態において広い範囲のプログラミング・パルス特性から得られることがある。例えば、パルス電圧の値は、数十ボルトと数千ボルトの間の範囲に入ることがある。同様に、パルスの継続時間は、ナノ秒以下とマイクロ秒の間の範囲にあることがある。電圧とパルス継続時間の効果的な組合せは、当業者が決定することができる、パルスが加えられる構造の特定のレイアウトに依存すると思われる。様々な実施形態では、プログラムされた構造の抵抗、キャパシタンス、およびインダクタンスを考えることが有利であることがある。プログラムされたイーヒューズの最終特性は、イーヒューズに投入された全エネルギーと互いに関係があると考えられる。したがって、一般に、プログラミング・パルスの電圧が増加するにつれて、パルスの継続時間は減少し、また逆に電圧が減少するにつれて継続時間が増加すると考えられる。

【００３１】

様々な実施形態において、図６Ａおよび６Ｂで立証された、形態の電気的に誘起される変化は、半導体フォトニック・デバイスおよびネットワークで利用される可能性がある。適切に調整された電気パルスを加えて光素子の全てまたは一部を結晶または多結晶形態から非晶質形態に転化させ、または非晶質形態から多結晶形態に転化させるために、電極が光素子に配置されることがある。この転化は、半導体フォトニック素子の光学的および電気的特性を所望のやり方で変える手段を提供し、回路設計、手直し、またはトリミングの手段を提供すると考えられる。

【００３２】

例えば、図６は、フォトニクス用途向けの半導体材料の形態の非限定の例として、ｃ－Ｓｉ、ａ－Ｓｉ、およびｐ－Ｓｉの屈折率の関係を図示する全体的に６００と表わされたグラフを示す。屈折率は、材料を通って伝播する光の波長の関数として表わされている。これらのデータは、公開された文献中の屈折率データから推定され、シリコンのこれらの形態の光学的挙動の例として限定でなく示されている。

【００３３】

図６では、ｃ－Ｓｉは、示された波長範囲の全ての波長で屈折率がａ－Ｓｉおよびｐ－Ｓｉよりも大きいことが分かる。さらに、ａ－Ｓｉは、約１．５８μｍより下で屈折率がｐ－Ｓｉよりも大きく、１．５８μｍより上では順序が逆になることが分かる。

【００３４】
図６に図示された関係は、いくつかのやり方で利用可能である。例えば、
・最初にｃ－Ｓｉセグメントを含む光路は、ｃ－Ｓｉセグメントの一部をａ－Ｓｉおよび／またはｐ－Ｓｉに転化させることによってより短い光路長を持つように変えることができる。
・最初にａ－Ｓｉセグメントを含む光路は、ａ－Ｓｉセグメントの一部をｐ－Ｓｉに転化させることによって、約１．５８μｍ未満の波長に対してより短い光路長を持つように変えることができる。約１．５８μｍより上では、ａ－Ｓｉセグメントは、より長い光路長を持つと考えられる。
・最初にｐ－Ｓｉセグメントを含む光路は、ｐ－Ｓｉセグメントの一部をａ－Ｓｉに転化させることによって、約１．５８μｍ未満の波長に対してより長い光路長を持つように変えることができる。約１．５８μｍより上では、ｐ－Ｓｉセグメントは、より短い光路長を持つと考えられる。
・最初にバルク結晶（例えば、埋込み酸化物層の上のエピタキシャル層）であるシリコン層は、意図されたコア領域に隣接する結晶層の一部をａ－Ｓｉおよび／またはｐ－Ｓｉに転化させることによって画定された光路をそのシリコン層中に備えることができる。
【００３５】
下の表１は、図６から得られた値を使用して、ｃ－Ｓｉに対するａ－Ｓｉ、ｃ－Ｓｉに対するｐ－Ｓｉ、およびｐ－Ｓｉに対するａ－Ｓｉの屈折率の基準化された差を比較している。ａ－Ｓｉとｐ－Ｓｉの両方に関して、ｃ－Ｓｉと比較した屈折率の差は、示された全ての波長で１％を超え、１．５５μｍ以上の波長では１０％を超えている。屈折率のこの相対的な差が、これらの材料を使用して組み立てられた導波路中への光信号の強い閉じ込めを引き起こすと考えられる。
【００３６】

表１

波長（μｍ）	（α－ｃ）／ｃ	（ｐ－ｃ）／ｃ	（α－ｐ）／ｐ
１．３	－１．７％	－５．２％	３．７％
１．４	－５．０％	－７．３％	２．５％
１．５	－８．５％	－９．５％	１．１％
１．５５	－１０．２％	－１０．６％	０．４％
１．６	－１２．０％	－１１．７％	－０．３％
１．６５	－１３．８％	－１２．９％	－１．０％

【００３７】
下記の実施形態は、半導体層の形態を第１の形態から第２の形態に転化させる本明細書で開示された実施形態を使用して光学特性を修正することができる様々なやり方を例示する。当業者は、他の光デバイスが同様に半導体形態の転化から利益を得ること、およびそのような他の光デバイスがこの開示の範囲内にあることを認めるであろう。さらに、下記の実施形態はシリコンの様々な形態に関して説明される可能性があるが、代替え半導体材料を使用する他の実施形態もまた本開示の範囲内にある。
【００３８】
図７は、全体的に７００で表わされた共振器を示し、この共振器７００は共振器リング７１０および隣接した導波路７２０を含み、これらの各々は、最初に従来の方法でｐ－Ｓｉから形成することができる。導波路７２０は、光エネルギーが導波路７２０からリング７１０に、またリング７１０から導波路７２０に結合されるように位置付けされている。様々な実施形態で、共振器７００は、論理ＡＮＤゲートおよび論理ＮＡＮＤゲートのような論理回路素子の一部として使用されることがある。当業者は、光共振器を使用するこれらおよび同様なデバイスの従来の実現をよく知っている。
【００３９】
リング７１０は共振周波数を有し、共振器７００を含む回路の動作周波数は部分的にこ

の共振周波数に依存する。共振周波数は、リング７１０の寸法、リング７１０の媒体例えばｐ－Ｓｉの屈折率、媒体中のキャリア濃度、および入射光信号７３０の強さまたはパワーなどのいくつかの要素によって決定されると考えられる。

【００４０】

本明細書の様々な実施形態は、リング７１０の共振波長を調節する手段を提供する。いくつかの実施形態では、この調節は、‘９７６出願に説明されているように、可干渉性光源または強い非可干渉性光源を使用して行われる。最初、リング７１０の光路長（ＯＰＬ）は、円周Ｃ（この例では、π*直径）と屈折率の積、すなわち

$$OPL = nC$$

にほぼ等しい。ＯＰＬは、セグメント７４０をｐ－Ｓｉからａ－Ｓｉに転化させることによって調節可能である。この場合、リング７１０のＯＰＬは、大きくなると考えられ、リング７１０の共振波長はλ_1からλ_2により長くなる。他の例では、共振器７００は、最初、エピタキシャル層などのｃ－Ｓｉ層から形成される。セグメント７４０は、ｃ－Ｓｉからｐ－Ｓｉに転化されてリング７１０のＯＰＬを減少させ、したがって、共振器７００の共振波長を最初の値λ_3から第２の値λ_4に減少させることができる。次に、セグメント７４０の一部は、ａ－Ｓｉに転化され、それによって、ＯＰＬを大きくし、さらに共振波長をλ_4から他の中間値λ_5に長くすることができる。

【００４１】

このようにして、リング７１０の共振波長は、特定の所望値にトリミングする（同調させる）ことができる。そのようなトリミングは、共振器を一部に備えている光回路が動作している間に行われることがある。いくつかの場合に、半導体材料のキャリア濃度および移動度は、１つの形態から他の形態へのその材料の転化の影響を受けると考えられる。実際問題として、材料特性のそのような相互作用から結果として生じる正確な共振周波数を予想することは困難である可能性がある。共振器７００の同調をとることができることは、材料特性のそのような変化を補償して共振波長の正確な所望値を生じさせる手段を提供する。

【００４２】

図８は、加熱素子として電気のヒューズ構造を使用して同調をとるように構成された共振器８００の実施形態を示す。共振器リング８１０は、いくつかのイーヒューズ構造８２０を含む。イーヒューズ構造８２０は、リング８１０の一部を加熱するように構成され、それによって、加熱部分の形態変化を誘起する。

【００４３】

図８の実施形態では、リング８１０は、８個の未修正イーヒューズ構造８２０ａと、３個の修正済みイーヒューズ構造８２０ｂとを含む。形成されたままのリング８１０の第１の形態から、異なる屈折率の第２の形態に既に修正された、リング８１０の光路の関連部分８３０を、各修正済みイーヒューズ構造８２０ｂは備えている。共振器リング７１０に関して説明されたように、リング８１０の形態および部分８３０は、リング８１０の共振波長同調性を実現するように様々な組合せで構成することができる。

【００４４】

図９は、イーヒューズ９１０が交差領域９３０で共振構造９２０と交差する実施形態を示す。共振構造９２０は、例えば共振器リングであることがある。例示の実施形態では、イーヒューズ９１０および共振構造９２０は、同じ半導体層、例えばポリシリコン中に形成されている。領域９３０以外のイーヒューズ９１０の部分は、領域９３０を含めて共振構造９２０よりも高いドーパント濃度にドープされている。より高濃度のドーピングは、共振器構造９２０よりも高い導電率を領域９３０以外のイーヒューズ９１０に与えている。イーヒューズ９１０のプログラミング中、例えば交差部分９３０の形態を変えている間、この構成は、イーヒューズ９１０の加熱を領域９３０に部分的に局部化し、それによって、領域９３０を、１つの形態から他の形態に転化させる目標にすると考えられる。加熱

の局部化は、有利なことに、意図された目標層が１つの形態から他の形態に転化される見込みを高め、またデバイス１００に投入される全パワーを減少させる可能性があり、それによって、デバイス１００の損傷の可能性を減少させる。

【００４５】

代替え実施形態では、領域９３０などの加熱素子は、１つまたは複数のランナ、例えば、加熱素子に電流を送るように構成された導電線を含むことがある。そのような実施形態では、ランナは、領域９３０以外でイーヒューズ９１０に取って代わる。ランナの厚さおよび／または幅および／または組成は、ランナの抵抗を、ランナの顕著な加熱が起こるかもしれない値より低く制限するように選ばれることがある。ランナは、シリコンなどの非金属化または金属化半導体、例えばシリサイド化ポリシリコンから成ることがあり、または、Ｗ、Ｔｉ、ＴｉＮ、Ｔａ、またはＴａＮのような適度の耐熱金属材料から成ることがある。ランナの加熱を制限することで、ランナの任意の化学反応またはランナからの外方拡散は、取るに足りないレベルに制限されると考えられる。ここで、取るに足らない反応または拡散は、デバイス特性に対して許容できないほど有害な影響がプログラミング・プロセスから結果として生じないこと意味する。ランナは、加熱されるべき領域（例えば、領域９３０）に側面から例えば目標領域と同じレベルで接続することがあり、または、目標領域より上および下に位置付けされて、１つまたは複数のコンタクトまたはビアのような低抵抗接続で接続されることがある。

【００４６】

図１０は、限定でなくマッハ・ツェンダ構成で表わされた干渉計１０１０を示す。干渉計１０１０は入力光信号１０２０を受け取り、この光信号１０２０は、第１の経路１０３０と第２の経路１０４０とに分割される。経路１０３０、１０４０を通過する信号部分は、再び結合されて出力信号１０５０を生成する。一般に、出力信号１０５０の強度および位相特性は、経路１０３０、１０４０を通って伝播する信号部分の相対的な位相遅れに依存する。各経路１０３０、１０４０での位相遅れは、今度は、経路１０３０、１０４０が形成される媒体の屈折率に部分的に依存する。

【００４７】

本明細書で説明される様々な実施形態に従って、第１の経路１０３０のセグメント１０６０は、最初の第１の屈折率から第２の屈折率に修正されることがある。この修正は、例えば、可干渉性光または高強度光にさらすことから結果として起こることがある。一実施形態では、セグメント１０６０は、ｐ－Ｓｉからａ－Ｓｉに転化され、それによって、セグメント１０６０の屈折率を減少させる。第１の経路１０３０のＯＰＬは、それによって減少されて、今度は、第１の経路１０３０を通って伝播する入力光信号１０２０の部分に与えられる位相遅れを減少させる。結果として、出力信号１０５０の位相および強度特性は変化すると考えられる。

【００４８】

図１１は、電気イーヒューズ構造１１２０で同調をとるように構成された干渉計１１１０の実施形態を示す。この干渉計は、２個の未修正イーヒューズ１１２０ａを含む。３個の修正済みイーヒューズ１１２０ｂは、既に動作して、第１の経路１０３０のセグメント１１３０の形態を修正した。例えば、形態は、結晶から非晶質に変えられることがある。前のように、この修正は、出力信号１０５０の位相および強度特性を変えると考えられる。

【００４９】

本明細書で、異なる屈折率を有する２つの領域を含んだ様々な実施形態が説明されるが、本開示の実施形態は、これらに限定されない。考えられる実施形態には、異なる屈折率の３つ以上の領域を備えるものがある。結晶領域、非晶質領域、または多結晶領域は、各領域の所望の平均屈折率を与えるように決定された厚さで形成されることがある。したがって、例えば、ｃ－Ｓｉおよびａ－Ｓｉの屈折率の加重平均である屈折率を有する１つまたは複数の領域が形成されることがある。そのような領域の屈折率の重み付けは、その領域でのｃ－Ｓｉおよびａ－Ｓｉの相対比率によって決定されることがある。

【００５０】
図１２Ａ～１２Ｅに注意を向けると、示されているのは、半導体層１２２０の一部の形態を制御することによって基板１２１０の上に光路を画定する方法１２００の実施形態である。追加のプロセス情報は、‘９７６出願で説明されている。層１２２０は、半導体の第１の形態、例えばｐ－Ｓｉであり、基板１２１０は、例えば、二酸化珪素であることがある。図１２Ａは、最初に形成されたままの層１２２０を示し、そこに導波路は画定されていない。
【００５１】
図１２Ｂは、層１２２０へのコア領域１２３０の形成を示す。光源１２４０、例えばレーザが、層１２２０を横切って走査する。強度、焦点、デューティ・サイクル、および照射周期は、層１２２０の照射部分を、層１２２０が形成された半導体の第２の異なる同素体に転化させるように制御することができる。したがって、例えば、照射部分は、ａ－Ｓｉに転化されることがある。そのとき、照射部分は、未照射層１２２０よりも屈折率が大きい。それによって、照射部分は、導波路のコア領域１２３０として動作することができ、隣接した未修正層１２２０はクラッド領域として動作する。
【００５２】
図１２Ｄは、光源１２４０で引き続き照射してコア領域１２３０を修正することを示す。光源１２４０は、コア領域１２３０の照射部分をｐ－Ｓｉに転化させるように決定された強度、焦点、デューティ・サイクル、および照射周期で動作することができる。層１２２０もｐ－Ｓｉであるので、コア領域１２３０の照射部分は、層１２２０とほぼ同じ屈折率を有し、光信号１２５０を閉じ込めるように動作しなくなる。言い換えると、コア領域１２３０の照射部分は基本的に消去される。
【００５３】
図１２Ｅは、層１２２０をさらに照射し、それによってコア領域１２３０の新しい部分を形成した後のコア領域１２３０を示す。したがって、コア領域１２３０は、異なる経路を持つように修正または手直しされている。フォトニック・デバイス中の光路の方向を修正するそのような能力は、例えば、デバイスの機能をカスタマイズするために、レイアウトの誤りを訂正するために、または損傷部分を修復するためにフォトニック・デバイスを手直しする独特の革新的な能力となる。
【００５４】
図１３Ａ～１３Ｃは、基板１３１０の上に形成された光路を含む光デバイス１３００の実施形態を示す。先ず図１３Ａを考えると、例示の実施形態では、半導体層１３２０は基板１３１０の上に位置付けされ、誘電体層１３３０が随意に半導体層１３２０と基板１３１０の間に位置付けされている。半導体層１３２０は、初期屈折率を有する。なおその上、誘電体層１３４０が、半導体層１３２０の上に位置付けされる。いくつかの実施形態では、半導体層１３２０の上に酸化物層を位置付けして、形態の変化を誘起するように加熱されたとき半導体層１３２０を酸化しないように守ることが好ましいことがある。例えば、半導体層１３２０は、エピタキシャル層のようなｃ－Ｓｉであり、誘電体層１３３０は埋込み酸化物層であることがある。誘電体層１３４０は、相互接続用誘電体スタックの１つまたは複数の層であることがあり、または、特に半導体層１３２０を保護するために半導体層１３２０の上に形成された酸化物層であることがある。
【００５５】
図１３Ｂは、半導体層１３２０の一部を、初期屈折率よりも小さな修正屈折率を有する形態に転化させることによって光路を形成することを示す。光源１３５０は、半導体層１３２０の一部を加熱し、それによって、加熱された部分をより小さな屈折率を有する形態に転化させる。図示のように１つのクラッド領域１３６０ａは既に形成され、もう１つのクラッド領域１３６０ｂが形成されている。クラッド領域１３６０ａおよび１３６０ｂは、光信号をその間のコア領域に閉じ込めるように作用することができる。
【００５６】
図１３Ｃは、部分１３６０ｂが形成された後の光デバイス１３００を示す。部分１３６

０ａおよび１３６０ｂは、コア領域１３７０の境界を定め、クラッド領域として作用する部分１３６０ａ、１３６０ｂの屈折率がより小さいために、光信号１３８０はコア領域１３７０内で導かれることができる。

【００５７】

上の様々な実施形態は、一般に複素数である屈折率の実部ｎに関して説明されたが、複素屈折率の虚部、すなわち消衰係数ｋは、一般に、特定の半導体の異なる形態によって異なることにも留意されたい。消衰係数は、光信号の一部の喪失を表わす。したがって、光路中の光信号の喪失すなわち減衰の程度は、光路の一部を１つの形態から他の形態に転化させることによって修正することができる。

【００５８】

光路で生じる減衰の修正は、少なくとも２つのやり方で実現することができる。第１の方法では、コア領域１２０（図１）のような光路の一部が、第１の消衰係数k_1の１つの形態から第２の異なる消衰係数k_2の他の形態に転化される。第２の方法では、半導体の一部、例えば、光路例えば導波路２１０に隣接するクラッド領域２２０ｂ（図２）が修正される。この修正は、光信号が導波路内に閉じ込められる程度を変える。例えば、導波路２１０がｃ－Ｓｉでクラッド領域２２０ａ、２２０ｂがｐ－Ｓｉである場合、光信号１３０は、導波路２１０の中に十分によく閉じ込められると考えられる。クラッド領域２２０ｂの小部分がａ－Ｓｉに転化されると、この小部分と導波路２１０の屈折率はほんの約２％だけ異なる（表１を参照されたい）。したがって、光信号１３０は、十分にはよく閉じ込められないと考えられ、信号の一部は、クラッド領域２２０ｂに失われると考えられる。この第２の方法は、導波路２１０の波長依存伝播特性の乱れがコア領域１２０の場合よりも少ないと考えられるという点で、いくつかの場合に第１の方法に優る有利点を実現する。

【００５９】

本明細書で説明された実施形態は、本開示の範囲内での光素子およびデバイスの実施形態を除外しない。当業者は、説明された実施形態によって証明された原理が他の半導体フォトニック・デバイスに応用可能であることを理解するであろう。減衰器、導波路、および電気光学変調器のような光ネットワーク構築用ブロックは、半導体をより高屈折率またはより低屈折率の同素体または形態に転化させることによって、形成することができる。特に、限定でなく電気光学変調器は、同素体または形態の転化を使用してその変調器の一部の同調をとるかまたはその変調器の一部を部分的に変える能力から相当な利益を得ると考えられる。というのは、そのようなデバイスは、ファブリ・ペロ微小空洞共振器と同様な精密同調構造を使用して製作されることが多いからである。ファブリ・ペロ微小空洞共振器の共振波長、したがってファブリ・ペロ微小空洞共振器の透過率は、空洞共振器媒体の屈折率に強く依存することを、当業者は理解するであろう。空洞共振器の共振周波数は、空洞共振器の一部を１つのＳｉ同素体から他のＳｉ同素体に転化させることによって、入射放射の特定の波長を整合させるように調整されるかもしれない。

【００６０】

図１４に注意を向けると、図示されているのは、全体的に１４００で表わされた、光デバイスを形成する方法である。ステップ１４１０で、その上に半導体材料層が位置付けされた基板が実現される。本明細書および特許請求の範囲において、「実現される」は、デバイス、基板、構造素子などが、本開示方法を実施する個人または事業実体によって製造されるか、または他の個人または事業実体を含めて当該個人または事業実体以外のソースから当該個人または事業実体によって得られることを意味する。材料層は、入力光信号を受け取るように構成することができ、第１の型の形態を有する半導体材料の領域を含む。

【００６１】

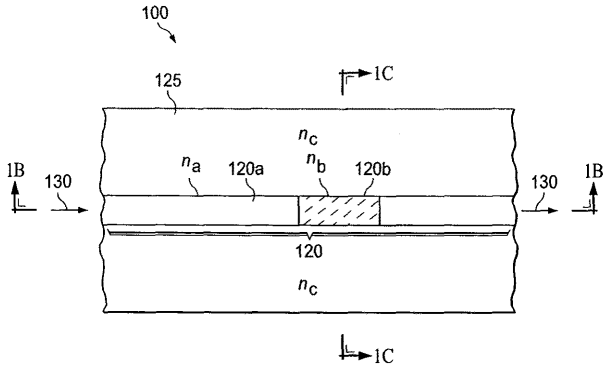
ステップ１４２０で、半導体材料のその領域は、第１の型とは異なった第２の型の形態に転化される。この転化は、例えば、電磁放射の照射または電気的加熱によることがある。転化は、その領域を含む光路の伝播特性を変える。本明細書の様々な実施形態において説明されたように、形態の転化は、導波路コア領域またはこのコア領域に隣接する導波路

クラッド領域の半導体材料の一部に対してである。

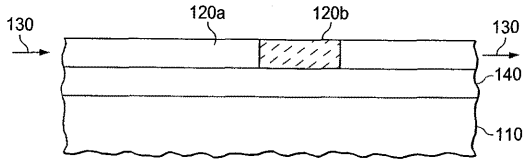
【００６２】

この出願が関係する当業者は、他のおよびさらなる追加、削除、取り替えおよび修正が、説明された実施形態に対して行われる可能性があることを理解するであろう。

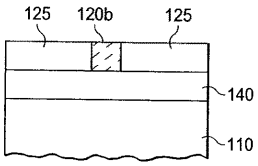
【図１Ａ】



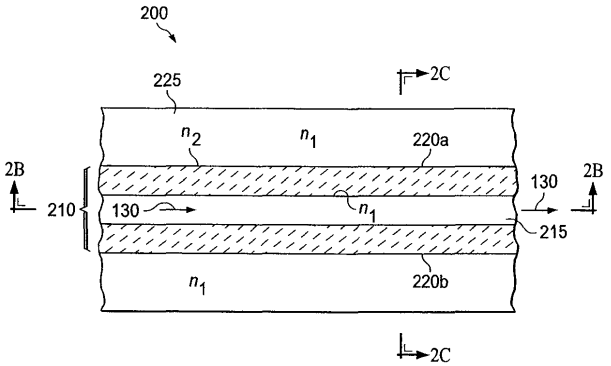
【図１Ｂ】



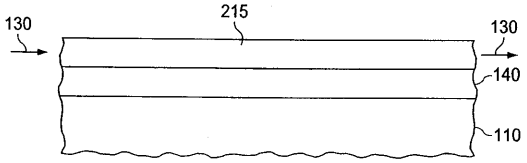
【図１Ｃ】



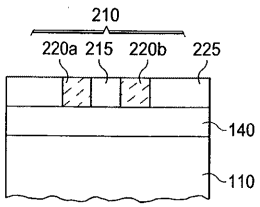
【図２Ａ】



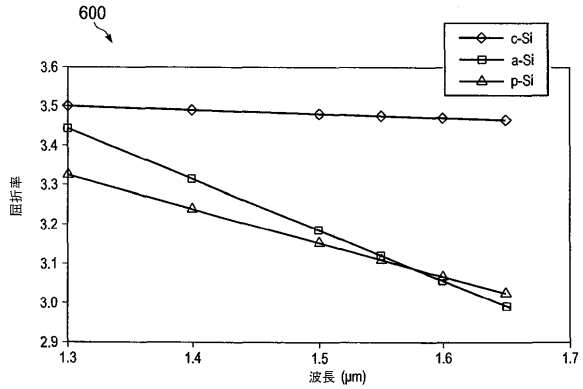
【図２Ｂ】



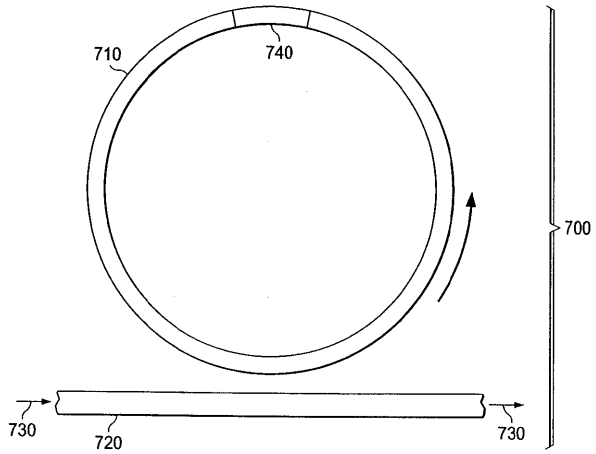
【図２Ｃ】



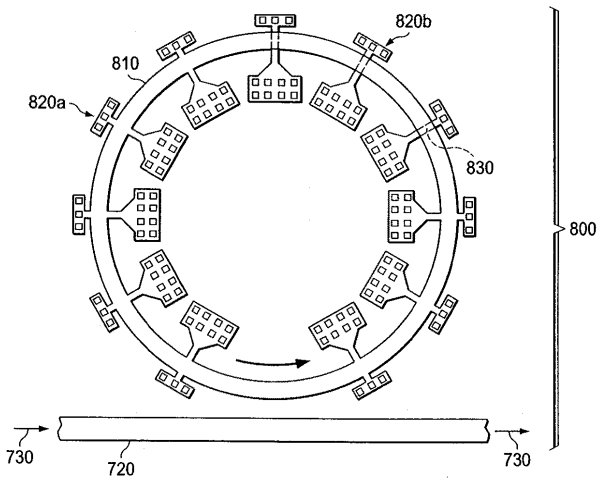
【図６】


600
c-Si
a-Si
p-Si
3.6
3.5
3.4
3.3
3.2
3.1
3.0
2.9
屈折率
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
波長 (μm)

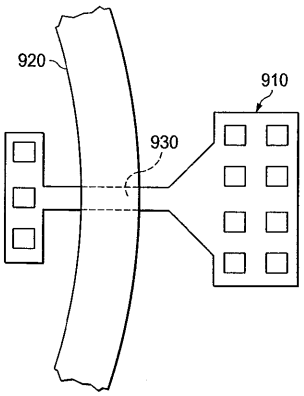
【図７】


710
740
700
730
720
730

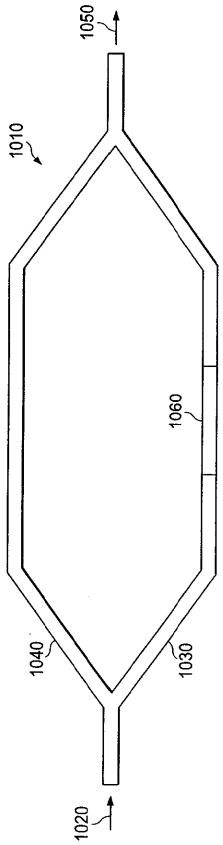
【図８】


820b
810
820a
830
800
730
720
730

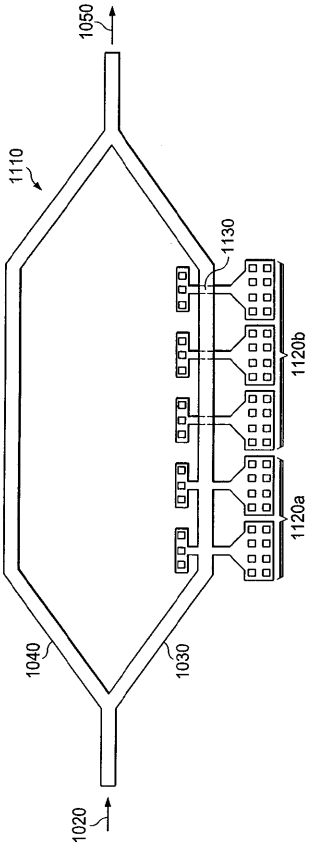
【図９】


920
910
930

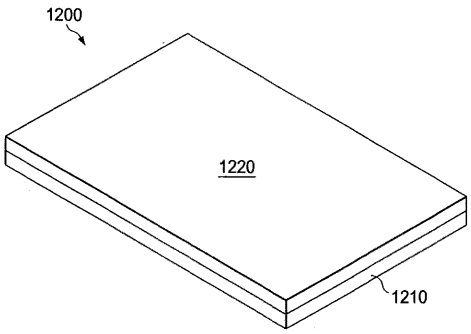
【図１０】



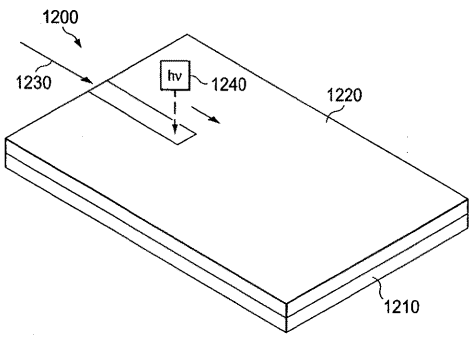
【図１１】



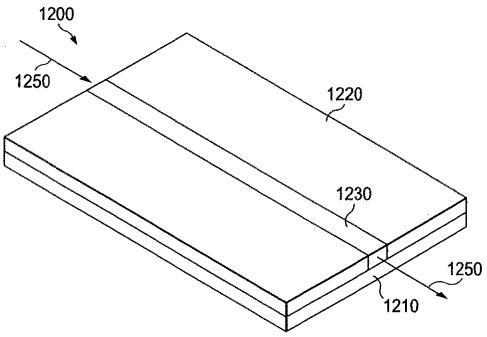
【図１２Ａ】



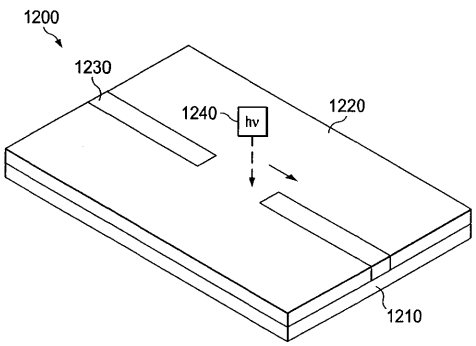
【図１２Ｂ】



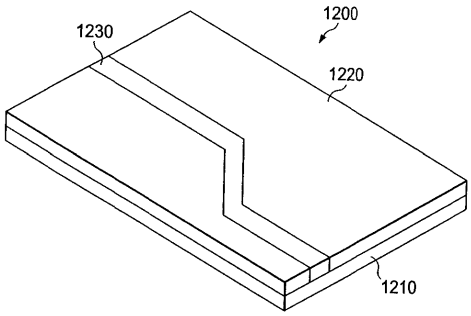
【図１２Ｃ】



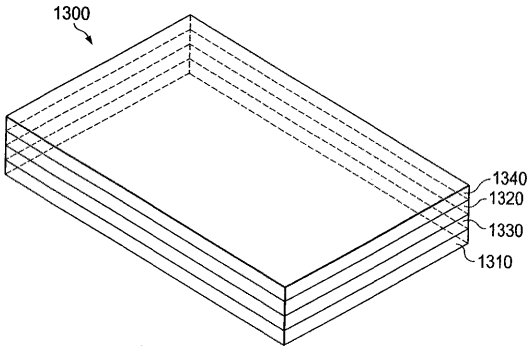
【図１２Ｄ】



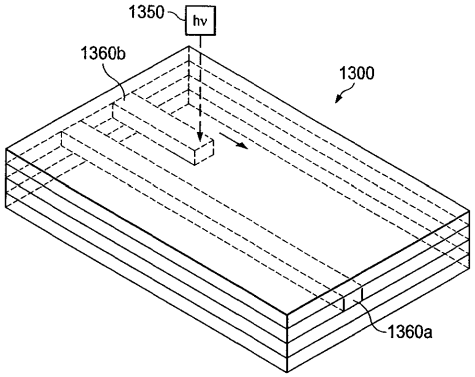
【図１２Ｅ】



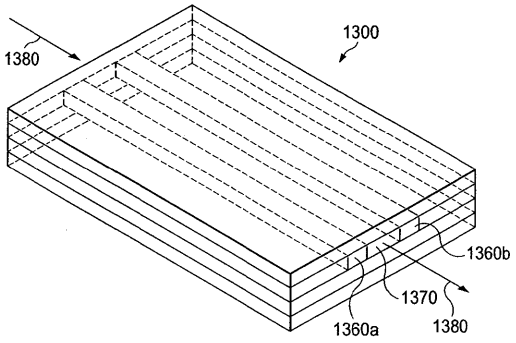
【図１３Ａ】



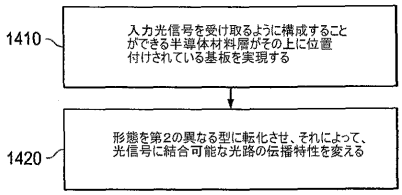
【図１３Ｂ】



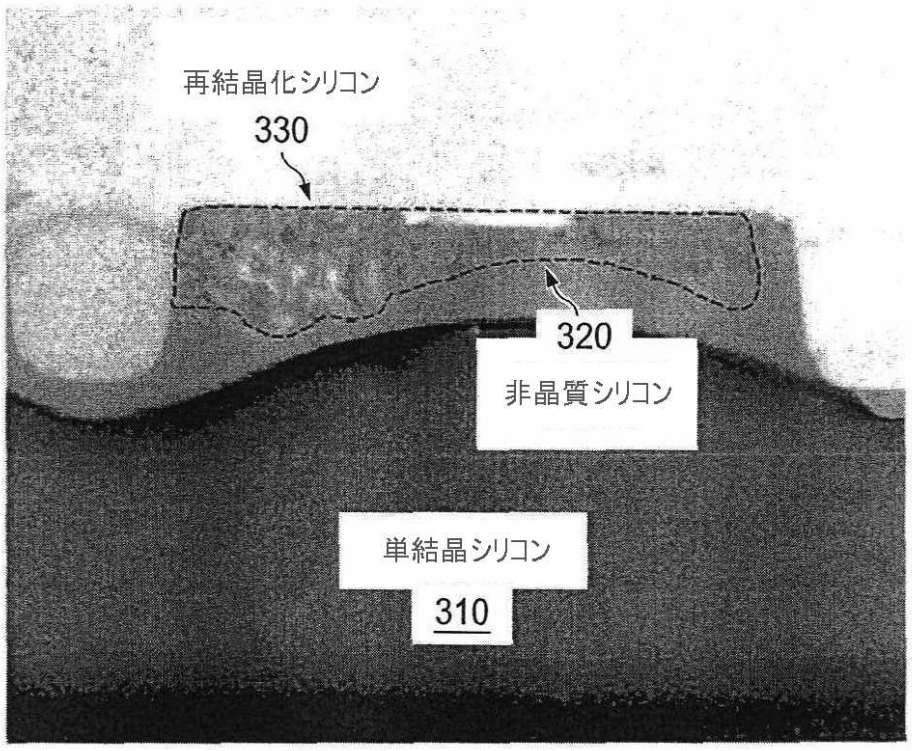
【図１３Ｃ】



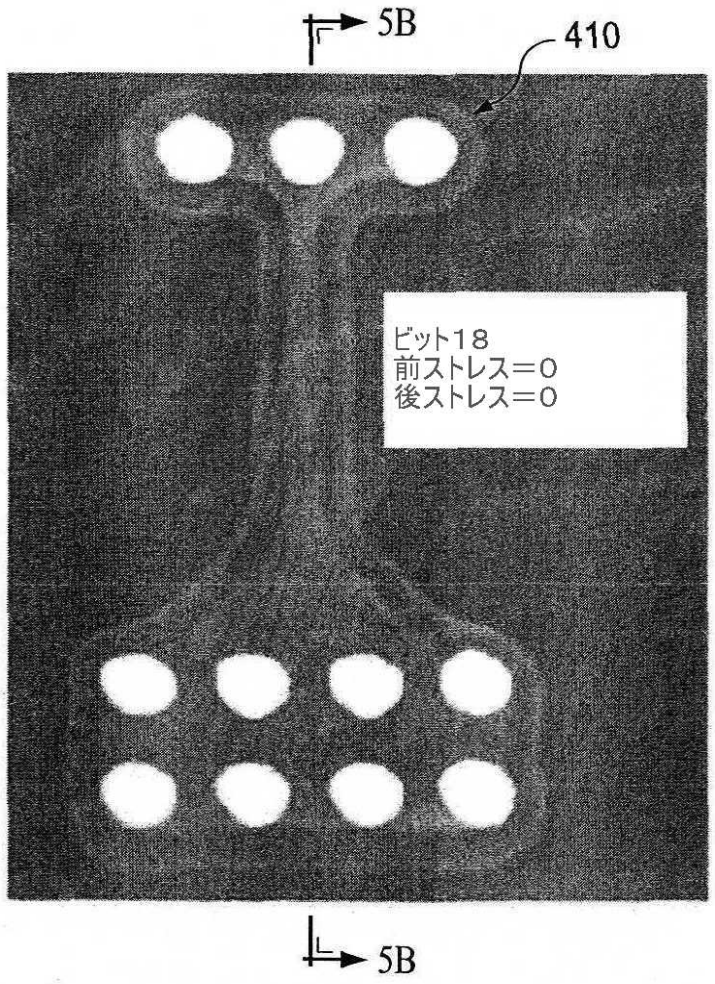
【図１４】



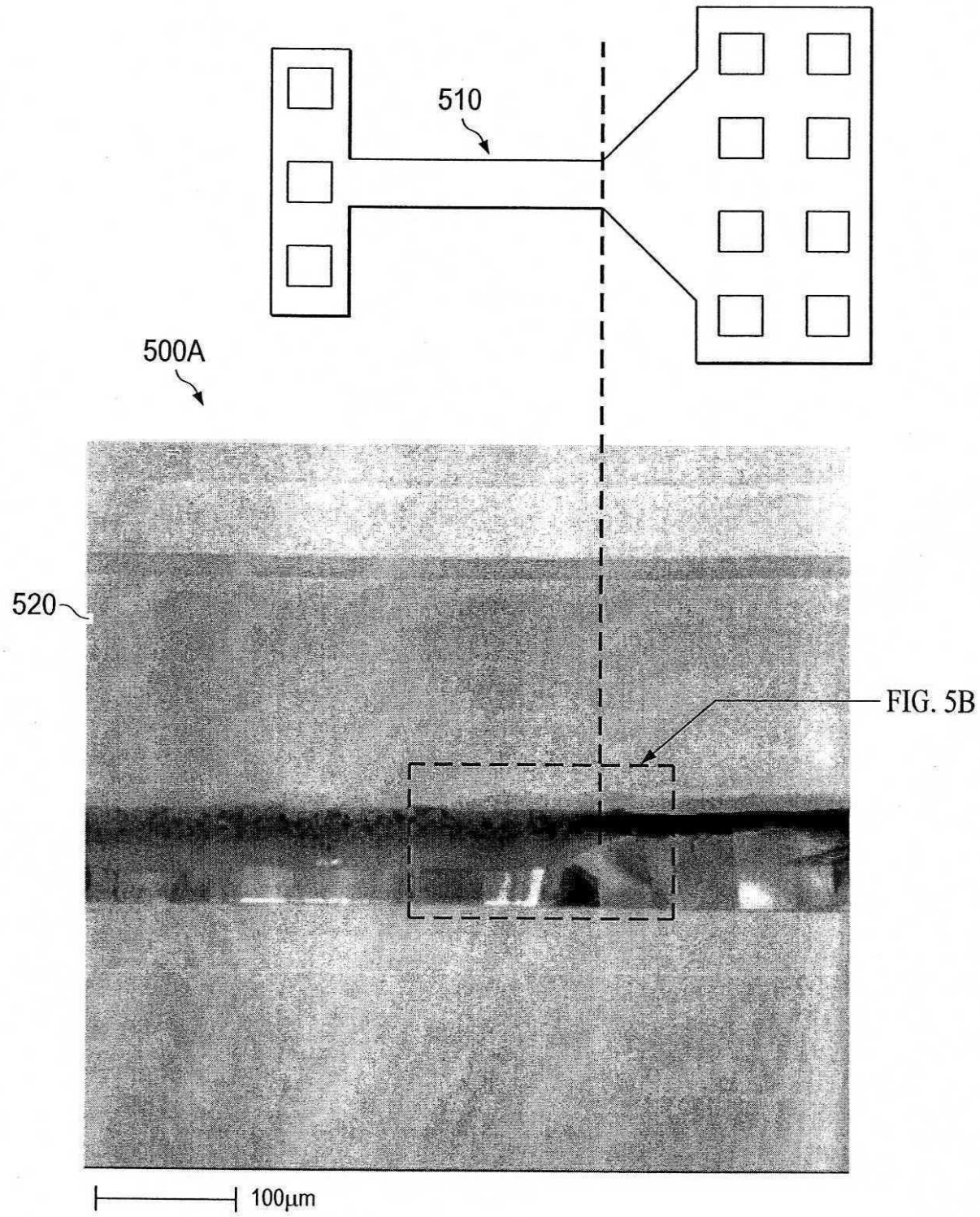
【図３】


再結晶化シリコン
330
320
非晶質シリコン
単結晶シリコン
310

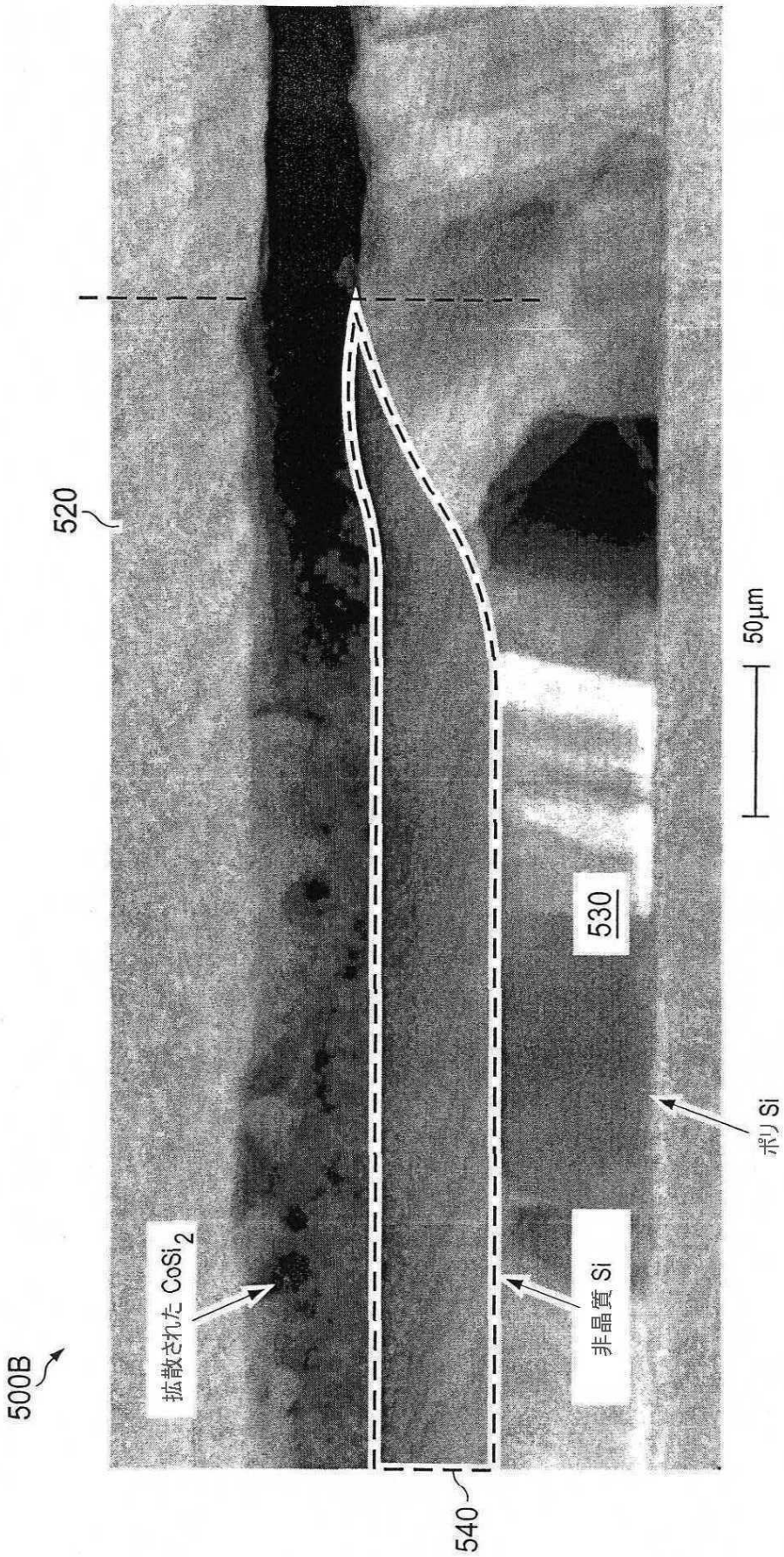
【図４】


5B
410
ビット18
前ストレス＝0
後ストレス＝0
5B

【図５Ａ】



【図５Ｂ】



フロントページの続き

(74)代理人 100170601
弁理士 川崎 孝
(72)発明者 ジョン デルッカ
アメリカ合衆国 １９０８７ ペンシルヴァニア，ウエイン，ケアウッド ドライヴ ３８０
(72)発明者 ジェームス カーゴ
アメリカ合衆国 １８０１８ ペンシルヴァニア，ベスレヘム，イースト ガリソン ストリート ５４２

Ｆターム(参考) 2H048 GA01 GA03 GA21 GA62
2H147 BD03 BE01 EA12A EA12B EA13A EA13C EA14A EA14B EA14C EA15C
EA23A EA25B FA03