

(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2010-26463

(P2010-26463A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.

G02F 1/355 (2006.01)

F1

G02F 1/355 501

テーマコード (参考)

2K002

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2008-191216 (P2008-191216)
 (22) 出願日 平成20年7月24日 (2008.7.24)

特許法第30条第1項適用申請有り (研究集会) 第9
 回ナノ量子情報エレクトロニクスセミナー (主催者)
 東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構 (開催日) 平成20年5月27日

(71) 出願人 503360115
 独立行政法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町四丁目1番8号
 (74) 代理人 100107250
 弁理士 林 信之
 (74) 代理人 100120868
 弁理士 安彦 元
 (72) 発明者 大津 元一
 東京都文京区弥生2-11-16 国立大
 学法人東京大学内
 (72) 発明者 八井 崇
 東京都文京区弥生2-11-16 国立大
 学法人東京大学内
 Fターム(参考) 2K002 AA02 AA04 AB27 BA02 CA02
 DA12

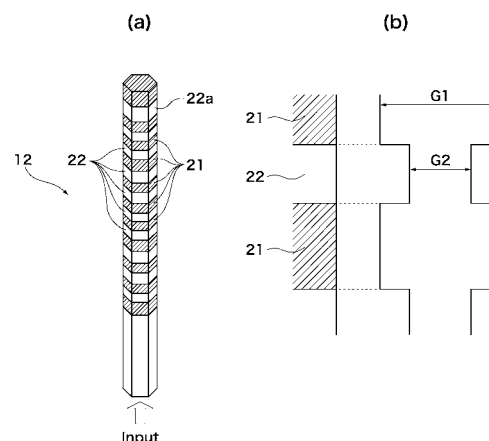
(54) 【発明の名称】 光パルス発生素子

(57) 【要約】

【課題】フェムト秒オーダーの光パルスを発生可能なナノメータサイズの光パルス素子を提供する。

【解決手段】障壁層21と、障壁層21よりも小さい禁制帯幅からなり、単一の励起子のみを閉じ込めることが可能な量子ドット層22とを交互に2段以上に亘り積層させたロッド体12により構成され、障壁層21は、3～10nmの厚みからなり、入射された光に基づいて各量子ドット層22に励起子が励起可能とされているとともに、その励起子が励起された各量子ドットに発生した電気双極子モーメントの方向を近接場光相互作用に基づいて互いに同一方向へ配向させ、この配列された双極子モーメントに基づいて最上段の量子ドット層22から放出するパルス光強度を増強させるとともに、パルス幅を狭小化させる。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

障壁層と、上記障壁層よりも小さい禁制帯幅からなり、単一の励起子のみを閉じ込めることが可能な量子ドット層とを交互に 2 段以上に亘り積層させたロッドにより構成され、上記障壁層は、 $3 \sim 10 \text{ nm}$ の厚みからなり、

入射された光に基づいて上記各量子ドット層に励起子が励起可能とされているとともに、その励起子が励起された各量子ドットに発生した電気双極子モーメントの方向を近接場光相互作用に基づいて互いに同一方向へ配向させ、

この配列された双極子モーメントに基づいて多段の量子ドット層から放出するパルス光強度を増強させるとともに、パルス幅を狭小化させること

10

を特徴とする光パルス発生素子。

【請求項 2】

最上段の量子ドット層は、他の量子ドット層よりも膜厚が厚く構成されてなることを特徴とする請求項 1 記載の光パルス発生素子。

【請求項 3】

上記障壁層は、 $5 \sim 10 \text{ nm}$ の厚みからなり、さらに上記量子ドット層は、 $1 \sim 10 \text{ nm}$ の厚みからなること

を特徴とする請求項 1 又は 2 記載の光パルス発生素子。

【請求項 4】

上記障壁層は、 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ (x は、 $0.15 \sim 0.3$) であり、

20

上記量子ドット層は、 ZnO であること

を特徴とする請求項 1 ～ 3 のうち何れか 1 項記載の光パルス発生素子。

【請求項 5】

上記障壁層は、 GaN であり、

上記量子ドット層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (x は、 $0.1 \sim 0.5$) であること

を特徴とする請求項 1 ～ 3 のうち何れか 1 項記載の光パルス発生素子。

【請求項 6】

上記障壁層は、 GaN 又は GaAs であり、

上記量子ドット層は、 InAs であること

を特徴とする請求項 1 ～ 3 のうち何れか 1 項記載の光パルス発生素子。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光パルス発生素子に関し、特にナノオーダ寸法でフェムト秒オーダの光パルスを発生させることに好適な光パルス発生素子に関する。

【背景技術】

【0002】

光パルス発生器は、光通信分野、計測技術の分野において重要な役割を果たしている。光パルス発生器として、レーザの共振器内に変調器を挿入し、レーザから直接光パルス列を発生させるモード同期方式がある。モード同期方式は、高速の光パルス列を発生させるべく、共振器内を走行する光パルスの周期をロックする（引き込む）ことを通常行う。モード同期方式には、共振器内に光変調器を挿入して損失変調をかける能動方式と、入射光強度に対して吸収係数が非線形に変化する過飽和吸収体を共振器内に挿入して受動的にモード同期をとる受動方式などがある。しかし、これらはいずれも機構が複雑であり、また高価であることや、面型デバイスとして使用することが難しいなどの問題がある。

40

【0003】

また、モード同期方式以外には、連続光を発生する光源に外部変調器を接続して光パルス列を発生させる方式が知られている。外部変調器を用いる光パルス発生器は、モード同期レーザと比較して、波長や繰り返し周波数を任意に設定しやすいという利点がある。しかしながら、外部変調器を別途準備する必要があることから、システム全体が大掛かりな

50

ものとなり、コストが上昇してしまうという問題点がある。

【特許文献 1】特開 2 0 0 5 - 1 2 1 8 2 3 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、近年において光パルス幅を 1 0 0 f s 以下とすることができれば、磁場を印加しない光だけで光磁気記録が可能となるという報告がなされている。

【0005】

しかしながら、そのようなフェムト秒オーダの光パルスを発生可能な光パルス発生器は、装置そのものがどうしても大掛かりなものになってしまう。このため、ノート型のパーソナルコンピュータ (P C) や携帯情報端末等に搭載することができず、実用化のためには、短パルス光源の小型化を図る必要があった。

【0006】

そこで、本発明は、上述した問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的とするところは、フェムト秒オーダの光パルスを発生させることが可能で、しかもナノメートルサイズで構成されることにより、ノート型 P C を初めとした各種モバイル端末に対しても、光記録時における記録容量の拡大、記録速度の高速化を初めとした各種技術革新を促すことが可能な光パルス発生素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明に係る光パルス発生素子は、障壁層と、上記障壁層よりも小さい禁制帯幅からなり、単一の励起子のみを閉じ込めることが可能な量子ドット層とを交互に 2 段以上に亘り積層させたロッドにより構成され、上記障壁層は、3 ~ 1 0 n m の厚みからなり、入射された光に基づいて上記各量子ドット層に励起子が励起可能とされているとともに、その励起子が励起された各量子ドットに発生した電気双極子モーメントの方向を近接場光相互作用に基づいて互いに同一方向へ配向させ、この配列された双極子モーメントに基づいて上記最上段の量子ドット層から放出するパルス光強度を増強させるとともに、パルス幅を狭小化させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

上述した構成からなる本発明では、量子ドットを 1 個のみで構成している場合と比較して、n 個の量子ドットで構成することにより、電気双極子モーメントの相乗効果が期待でき、その放射強度は、 N^2 倍となる ($n/2(n/2+1)$ より)。このため、量子ドット 2 2 a から発生される光パルスの強度を増強させることが可能となる。また、これに伴って発生すべき光パルス信号をフェムト秒オーダまで短くすることも可能となる。

【0009】

このため、本発明を適用した光パルス発生素子を用いることにより、光パルス幅を 1 0 0 f s 以下とすることもでき、磁場を印加しない光だけで光磁気記録が可能となる。しかも、本発明を適用した光パルス発生素子は、ナノメートルサイズのロッド体として構成されることから、ノート型のパーソナルコンピュータ (P C) や携帯情報端末等に搭載することができ、光だけの磁気記録機能をこれらの各デバイスに担わせることも可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、本発明を実施するための最良の形態として、超短光パルスを発生させる光パルス発生素子について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0011】

図 1 は、本発明を適用した光パルス発生素子 1 の構成を示している。この光パルス発生素子 1 は、ナノメートルサイズのロッド (棒状体) により構成されるものであり、基板 1 1 と、この基板上において立設されたロッド体 1 2 とからなる。ちなみに、このロッド体 1 2 は、基板 1 1 において複数立設されている場合に限定されるものではなく、少なくとも

10

20

30

40

50

1 本立設されているものであってもよい。

【0012】

基板11は、例えば Al_2O_3 基板や、サファイヤ基板等を想定しているが、これに限定されるものではなく、例えばシリコンを用いるようにしてもよいし、その他ガラス、ガリウム砒素、ガリウムナイトライド、ポリイミド基板などを用いるようにしてもよい。この基板11の板厚は、 $600\mu m$ であるが、これに限定されるものではなく、いかなる板厚で構成されていてもよい。

ロッド体12は、例えば図2(a)に示すように、障壁層21と、量子ドット層22とが交互に2段以上に亘り積層されている。図2(b)は、このロッド体12の拡大構成を示す図であるが、障壁層21は、禁制帯幅G1からなり、例えば、 $Zn_{1-x}Mg_xO$ (x は、 $0.15 \sim 0.3$)で構成されている。また、この障壁層21は、 $3 \sim 10nm$ の厚さで構成されていけばよいが、以下の実施の形態においては、 $6nm$ 程度で構成されている場合を例にとり説明をする。

10

【0013】

また、量子ドット層22は、上下が障壁層21に挟まれて構成されてなり、その禁制帯幅G2は、障壁層21の禁制帯幅G1と比較して小さい禁制帯幅で構成される。その結果、この量子ドット層22は、禁制帯幅の大きい障壁層21の間に構成された、いわゆる量子ドットとなり、特に単一の励起子を3次元的に閉じ込めることが可能な微細なポテンシャルの箱を形成することが可能となる。この量子ドット層22は、励起子の閉じ込め系を利用し、量子ドット内のキャリアのエネルギー準位が離散的になり、状態密度がデルタ関数的に尖鋭化する。ちなみに、この量子ドット層22は、障壁層21が $Zn_{1-x}Mg_xO$ で構成されている場合において、 ZnO で構成されている。また、この量子ドット22において光を吸収することにより、励起準位へと励起された励起子により、その量子ドット22には電気双極子モーメントが発生することになる。なお、この量子ドット層22は、厚みが $3nm$ 程度で構成されている場合を想定しているが、上限は量子サイズ効果が発生する $10nm$ とすることが望ましく、また下限は、障壁層21への正孔の染み出しを防止する観点から $1nm$ とされていることが望ましい。

20

【0014】

また、このロッド体12は、障壁層21と、量子ドット層22とを交互に2段以上に亘り積層させることにより最上段に形成された量子ドット22aのみ膜厚を厚く構成する。例えば、下段の量子ドット層22の膜厚を $3.2nm$ としたとき、この最上段の量子ドット22aのみ、膜厚を $3.8nm$ としている。なお、この光パルス発生素子1から放出すべきパルス光は、この量子ドット22aを介して放出されることになることから、この量子ドット22aは、いわゆる出力端としての役割を担うことになる。

30

【0015】

これに対して、この光パルス発生素子1における入力端は、全ての量子ドット層22に相当し、換言すれば量子ドット22a以下が全て入力端に相当することになる。実際に、この光パルス発生素子1に対して入力光を供給する際には、図1に示すようにある角度方向から光を照射することにより、これら各量子ドット層22において励起子を励起されることになる。

40

【0016】

なお、このロッド体12の径としては、例えば $6nm$ 程度を想定している。このため、量子ドット層22は、径が $6nm$ 程度であり、厚みが $3nm$ 程度のナノオーダの極めて微細な構造体として構成することができ、量子ドットとしての効果を発現させることが可能となる。

【0017】

次に、本発明を適用した光パルス発生素子1の作製方法について説明をする。図3は、本発明を適用した ZnO ナノロッドの堆積方法を実現するための結晶成長装置3の概略を示している。

【0018】

50

この結晶成長装置 3 は、金属触媒を用いない M O V P E (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 法に基づくものである。

【 0 0 1 9 】

この結晶成長装置 3 は、チャンバ 3 1 内に、基板 1 1 と、上記基板 1 1 を載置するためのステージ 3 4 とを配設して構成され、またこのチャンバ 3 1 内の気体は、ポンプ 3 6 を介して吸引可能とされ、更に圧力センサ 3 7 によりチャンバ 3 1 内の圧力を検出し、これに基づいてバタフライバルブ 3 8 を自動的に開閉することにより内圧の自動制御を実現可能としている。チャンバ 3 1 の外周には、R F ヒータ 5 1 が特にステージ 3 4 の周囲において配設されており、当該 R F ヒータ 5 1 を介して基板 1 1 を加熱可能としている。また、このチャンバ 3 1 内には図示しない熱電対が配設されて内部の温度が随時識別可能とされており、さらにこのチャンバ 3 1 に対して酸素を供給するための供給管 5 3 と、A r キヤリアとしたジエチル亜鉛ガス (D E Z n) を供給するための供給管 5 4 とが接続されている。

10

【 0 0 2 0 】

このような構成からなる結晶成長装置 3 により、実際にナノロッド状のロッド体 1 2 を基板 1 1 上に堆積させる場合には、先ず、ステージ 3 4 上に基板 1 1 を取り付け、次に、ポンプ 3 6 を介してチャンバ 3 1 内の気体を吸引するとともに、バタフライバルブ 3 8 等を用いてチャンバ 1 1 内を所定の圧力に制御する。

【 0 0 2 1 】

次に、R F ヒータ 5 1 により基板 1 1 を加熱するとともに、供給管 5 3 からチャンバ 3 1 内へ酸素を供給し、さらに供給管 5 4 からチャンバ 3 1 内へジエチル亜鉛ガスを供給する。ちなみに、この供給すべき酸素の代替として、水蒸気を供給するようにしてもよいし、二酸化窒素を供給するようにしてもよいし、その他酸素原子を含む化合物で構成されるいかなる気体又は蒸気を供給するようにしてもよい。また、供給すべきジエチル亜鉛ガスの代替として、亜鉛を含むいかなる有機金属ガスを供給するようにしてもよい。

20

【 0 0 2 2 】

このとき基板 1 1 の温度を R F ヒータ 2 1 により調整するとともに、チャンバ 3 1 内における圧力を調整する。このとき、チャンバ 3 1 内の全圧は 5 T o r r とし、また D E Z n の流量を 0 . 1 s c c m としている。チャンバ 3 1 内の温度は、4 5 0 程度まで上げる。

30

【 0 0 2 3 】

その結果、基板 1 1 の表面からほぼ垂直方向に向けて Z n O からなる台柱が形成される。また、Z n M g O からなる障壁層 2 1 を形成させる際には、上述したジエチル亜鉛ガスに加え、更に M g 用原料として C p ₂ M g ((bis)cyclopentadienylmagnesium) を混合してこれをチャンバ 3 1 内へと供給する。その結果、Z n M g O からなる障壁層 2 1 がかかる台柱の上端から成長していくことになる。このとき、C p ₂ M g の混合を停止することにより、ジエチル亜鉛ガスのみがチャンバ内 3 1 へ供給される状態を作り出すことで、Z n O からなる量子ドット層 2 2 が成長していくことになる。

【 0 0 2 4 】

このように上述した障壁層 2 1、量子ドット層 2 2 を交互に 2 段以上形成させるためには、M g 用原料としての C p ₂ M g の供給し、又はこれを停止する動作を交互に繰り返し実行することにより実現することが可能となる。

40

【 0 0 2 5 】

最後に量子ドット 2 2 a を形成させる際には、通常の量子ドット層 2 2 よりも膜厚を大きくする観点から、ジエチル亜鉛ガスの供給時間を長めにコントロールすることになる。

【 0 0 2 6 】

特に直径 6 n m 以下までの極細のロッド体 1 2 を形成させるためには、基板 1 1 の温度を R F ヒータ 5 1 により調整する。図 4 は、この基板 1 3 に対する制御温度を時系列的に示したものである。先ず、R F ヒータ 5 1 により、基板 1 1 を 4 5 0 ± 1 0 % まで昇温させる。そして、この 4 5 0 ± 1 0 % で約 3 5 分程度保持する。その結果、図 5 に示すよ

50

うに、基板 11 の表面からほぼ垂直方向に向けて ZnO からなる台柱 31 が形成される。ちなみに、この保持時間は 35 分に限定されるものではなく、形成すべき台柱 31 の長さに応じて自在にコントロールするようにしてもよい。

【0027】

次に図 5 に示すように、基板 13 の温度を $750 \pm 10\%$ まで昇温させる。そして、この基板 13 を当該温度にて所定時間保持する。その結果、図 5 に示すように、台柱 31 上端から ZnO からなる量子ドット層 22 が成長することになる。ちなみに、この量子ドット層 22 は、基板 11 表面に対してほぼ垂直に成長し、直径 20 nm 以下となっている。この 750 でチャンパ 31 内の温度を保持しつつ、上述したように、 Cp_2Mg の供給、停止を繰り返し実行することにより、ナノオーダからなる極細径のロッド体 12 に量子井戸構造を形成させることが可能となる。

10

【0028】

このように、上述した光パルス発生素子 1 においては、台柱 61 の上端から直径 20 nm 以下のロッド体 12 を所望の長さに亘り形成させることが可能となる。しかもこの形成されたロッド体 12 の長手方向は、何れも基板 11 に対してほぼ垂直方向に揃えることが可能となり、ランダムに配向することが無くなると同時に直径の均一化も図れることから、発光および電界放出の指向性の向上や軸方向への均一な量子井戸幅をもつ量子構造を作製する際に特に有利となる。これに加えて、ロッド体 11 を構成する量子ドット層 22 の直径を 20 nm 以下まで細径化することにより、径方向への量子閉じ込め効果を発揮させることが可能となり、後述する本発明所期の効果を発揮させる上でより好適なものとなる。

20

【0029】

次に、本発明を適用した光パルス発生素子 1 の動作について説明をする。図 6 は、ロッド体 11 における量子井戸構造をポテンシャル図で表したものである。この例においては、量子ドット層 22 を 10 層で構成したものであり、それぞれ下方か上方に向けて順に量子ドット層 22_1、22_2、・・・22_10 で表している。また、これら各量子ドット層 22 の間には障壁層 21 が介在し、励起子を量子ドット 22 内において 3 次元的に閉じ込めるための障壁として作用することになる。また、最上位にある量子ドット 22_10 の上側は、量子ドット 22a が障壁層 21 を介して形成されている。

【0030】

30

このような量子井戸構造からなるロッド体 11 に対して、入力光を供給する。その結果、量子ドット層 22_1 ~ 22_10 における各基底準位から励起準位へと励起子が励起されることになる。図 6 (a) における各量子ドット層 22_1 ~ 22_10 における丸印は、励起された励起子を意味するものである。

【0031】

このような各量子ドット層 22_1 ~ 22_10 においてそれぞれ励起子が励起されることにより、これらの量子ドット層 22_1 ~ 22_10 それぞれにおいて電気双極子モーメントが発生することになる。このとき、量子ドット層 22_1 ~ 22_10 間において近接場光相互作用が働き、これに基づいて、量子ドット層 22_1 ~ 22_10 それぞれにおいて発生した電気双極子モーメントの向きが同一方向に配向することになる。

40

【0032】

図 6 (b) は、各量子ドット 22_1 ~ 22_10 において発生した電気双極子モーメントにかかる近接場光相互作用に基づいて一方向に配向させた例を示している。このように各量子ドット 22_1 ~ 22_10 において発生した電気双極子モーメントを一方向に配向させるいわゆる電気双極子秩序化状態を作り出すことにより、以下に説明するような効果を奏する。

【0033】

互いに隣接する量子ドット層 22 間において、電気双極子モーメントが同符号になって振動することにより、単一の量子ドットの場合と比較して、かかる電気双極子モーメントの振動の振幅が大きくなる。このように大きな振幅で振動する電気双極子モーメント

50

からは強い放射が起こることになる。即ち、隣接する量子ドット層 2 2 間において電気双極子モーメントが合わさって大きな一つの電気双極子モーメントを発生させたのと同等の効果が生じることになる。その結果、量子ドットを 1 個のみで構成している場合と比較して、 n 個の量子ドットで構成することにより、電気双極子モーメントの相乗効果が期待でき、その放射強度は、 N^2 倍となる ($n/2(n/2+1)$ より)。このため、量子ドット 2 2 a から発生される光パルスの強度を増強させることが可能となる。また、これに伴って発生すべき光パルス信号をフェムト秒オーダーまで短くすることも可能となる。

【0034】

このため、本発明を適用した光パルス発生素子 1 を用いることにより、光パルス幅を 100 fs 以下とすることもでき、磁場を印加しない光だけで光磁気記録が可能となる。しかも、本発明を適用した光パルス発生素子 1 は、ナノメータサイズのロッド体 1 2 として構成されることから、ノート型のパーソナルコンピュータ (PC) や携帯情報端末等に搭載することができ、光だけの磁気記録機能をこれらの各デバイスに担わせることも可能となる。また、本発明により、ノート型 PC を初めとした各種モバイル端末に対しても、光記録時における記録容量の拡大、記録速度の高速化を初めとした各種技術革新を促すことが可能となる。

【0035】

なお、上述した障壁層 2 1 は、3 ~ 10 nm の厚みで構成している場合について示した。これは障壁層 2 1 が、 $Zn_{1-x}Mg_xO$ (x は、0.15 ~ 0.3) であり、量子ドット層 2 2 が ZnO である場合において、仮に障壁層 2 1 が 3 nm 未満では、量子ドット 2 2 層中の励起子がトンネル効果により隣接する他の量子ドット層 2 2 へと突き抜けてしまう。このようなトンネル効果により電流が流れることになればジュール熱が発生することにより、光パルス発生素子 1 自体の抵抗が上昇してしまい、光パルスの発生効率が低下してしまう。このため、障壁層 2 1 の厚みの下限値を 3 nm 以上としている。なお、トンネル効果の発生をより強固に防止する観点から、障壁層 2 1 の厚みの下限値を 5 nm 以上とすることが望ましい。即ち、障壁層 2 1 は、5 ~ 10 nm の厚みで構成していることがより好ましいものといえる。

【0036】

また、仮に障壁層 2 1 が 10 nm を超える場合には、隣接する量子ドット層 2 2 間において働く近接場光相互作用が小さくなり、上述したような電気双極子モーメントの同一方向への配向性が低下してしまう。このため、障壁層 2 1 の厚みの上限値を 10 nm 以下としている。

【0037】

また、上述した量子井戸構造を構成する上で、 $ZnMgO/ZnO$ 系で構成する場合に限定されるものではなく、例えば、 $GaN/InGaN$ 系で構成するようにしてもよいことは勿論である。

【実施例 1】

【0038】

ロッド体 1 2 における障壁層 2 1 として $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ を、また 10 層からなる量子ドット層 2 2 として、ZnO を使用し、障壁層 2 1 の厚みは 6 nm、量子ドット層 2 2 の厚みは 3.2 nm、量子ドット 2 2 a の厚みは、3.8 nm、更にロッド体 1 2 の径は、80 nm とした本発明例のサンプルを作製した。

【0039】

比較例として、ロッド体 1 2 における障壁層 2 1 として $Zn_{0.8}Mg_{0.2}O$ を、また 1 層からなる量子ドット層 2 2 として、ZnO を使用し、障壁層 2 1 の厚みは 6 nm、量子ドット層 2 2 の厚みは 3.2 nm、量子ドット 2 2 a の厚みは、3.8 nm、更にロッド体 1 2 の径は、80 nm としたサンプルを作製した。

【0040】

このような形状からなる本発明例、比較例に対して、それぞれ 4.025 eV の光を 45° の角度で、2 ps 秒間に亘り照射した結果を図 7 に示す。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

本発明例は、比較例よりも発光強度が高くなり、また光パルスの幅が狭小化されているのが示されている。また、発光の時定数（強度が $1/e^2$ になるときの時間）は、本発明例が400 p sであるのに対して、比較例は550 p sであった。このため、本発明例の方が光パルスの幅が狭小化されているのがデータとしても現れていることが分かった。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 2 】

【図1】本発明を適用した光パルス発生素子の構成図である。

【図2】ロッド体の詳細な構成を示す図である。

【図3】本発明を適用した光パルス発生素子を作製するための結晶成長装置の概略図である。 10

【図4】基板に対する制御温度を時系列的に示した図である。

【図5】基板の表面からほぼ垂直方向に向けてナノロッドを形成させる点について説明するための図である。

【図6】本発明を適用した光パルス発生素子の動作について説明するための図である。

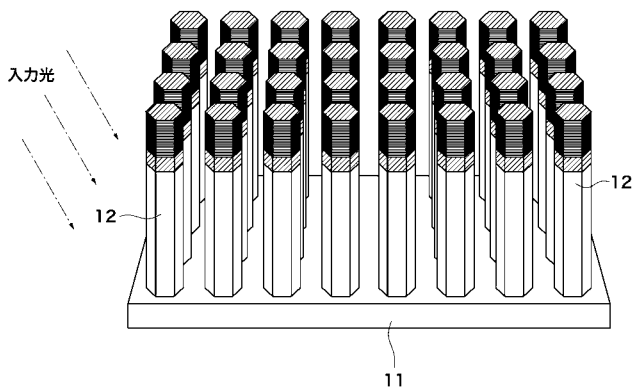
【図7】本発明を適用した光パルス発生素子の実施例について説明するための図である。

【符号の説明】

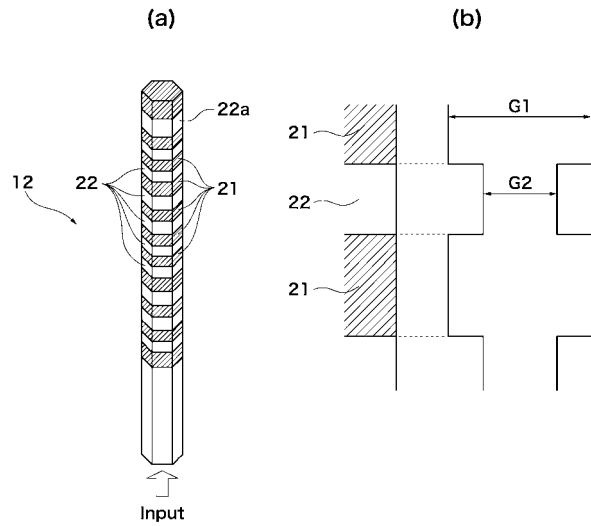
【 0 0 4 3 】

- | | | |
|-----|----------|----|
| 1 | 光パルス発生素子 | |
| 1 1 | 基板 | 20 |
| 1 2 | ロッド体 | |
| 2 1 | 障壁層 | |
| 2 2 | 量子ドット層 | |
| 3 | 結晶成長装置 | |
| 3 1 | チャンバ | |
| 3 4 | ステージ | |
| 3 6 | ポンプ | |
| 3 7 | 圧力センサ | |
| 3 8 | バタフライバルブ | |
| 5 1 | R F ヒータ | 30 |
| 5 3 | 供給管 | |
| 5 4 | 供給管 | |

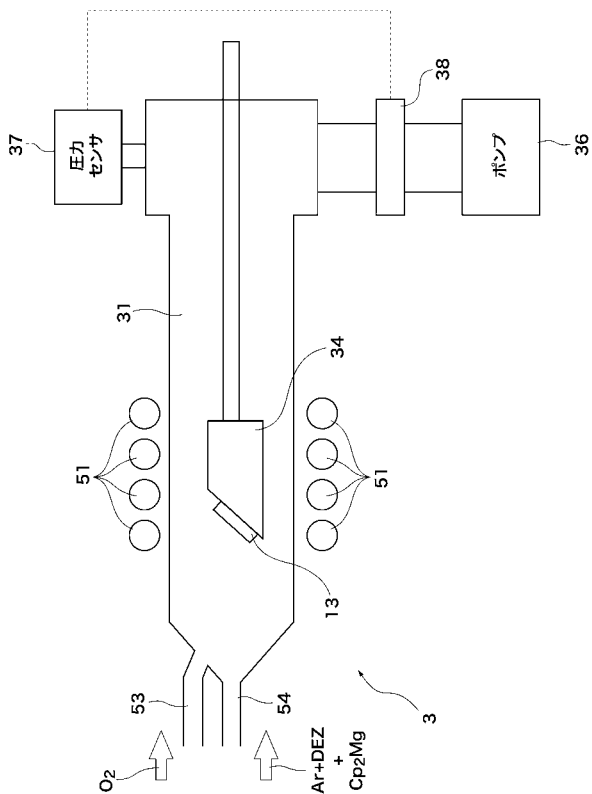
【図 1】



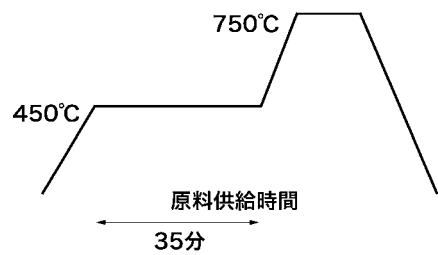
【図 2】



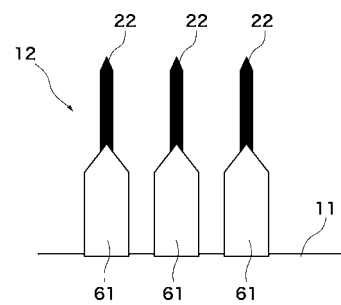
【図 3】



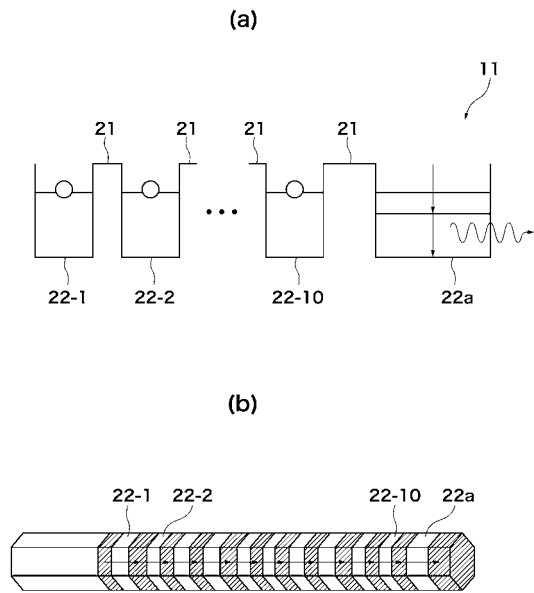
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

