

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-528922

(P2017-528922A)

(43) 公表日 平成29年9月28日(2017.9.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 21/20 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/20	2 K 1 0 2
<b>H O 1 S 3/067 (2006.01)</b>	H O 1 S 3/067	5 F 1 5 2
<b>H O 1 S 3/00 (2006.01)</b>	H O 1 S 3/00	A 5 F 1 7 2
<b>H O 1 S 3/23 (2006.01)</b>	H O 1 S 3/23	
<b>G O 2 F 1/37 (2006.01)</b>	G O 2 F 1/37	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 17 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2017-521034 (P2017-521034)  
 (86) (22) 出願日 平成27年7月1日 (2015.7.1)  
 (85) 翻訳文提出日 平成29年2月14日 (2017.2.14)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/038785  
 (87) 国際公開番号 W02016/004175  
 (87) 国際公開日 平成28年1月7日 (2016.1.7)  
 (31) 優先権主張番号 62/020,501  
 (32) 優先日 平成26年7月3日 (2014.7.3)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501012517  
 アイピージー フォトニクス コーポレー  
 ション  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O  
 1 5 4 O, オックスフォード, オールド  
 ウェブスター ロード 5 O  
 (74) 代理人 100108453  
 弁理士 村山 靖彦  
 (74) 代理人 100110364  
 弁理士 実広 信哉  
 (74) 代理人 100133400  
 弁理士 阿部 達彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ファイバーレーザーによってアモルファスシリコン基板を均一に結晶化させるための方法及びシステム

## (57) 【要約】

アモルファスシリコン (a Si) を結晶化させるための本発明のシステムは、膜照射パルスビームを放出するように動作可能な準連続波ファイバーレーザー源を備えて構成される。ファイバーレーザー源は、a Si に入射する複数の非反復パルスを放出するように動作可能である。特に、ファイバーレーザーは、バースト繰り返し率 (BRR) で膜照射光の複数の離散的なパケットを放出し、BRR よりも高いパルス繰り返し率 (PRR) で放出される各パケット内の複数のパルスを放出するように動作可能である。各パルスのパルスエネルギー及びパルス持続時間並びに PRR は、各パケットが、少なくとも一つのパケットに晒される膜の各箇所において a Si をポリシリコン (p Si) に変換するのに十分な所望のパケットの時間的パワープロファイル (W/cm<sup>2</sup>) 及びパケットエネルギーを有するように制御される。

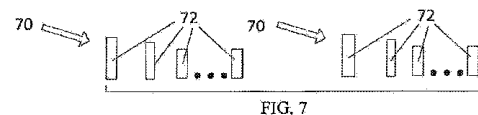


FIG. 7

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

アモルファスシリコン膜を結晶化させるためのシステムであって、  
膜照射パルスビームを放出するように動作するファイバーレーザー源と、  
バースト繰り返し率で膜照射光の複数の離散的なパケットを放出し、バースト繰り返し率よりも高いパルス繰り返し率で放出される各パケット内の複数のパルスを放出するようにファイバーレーザー源を制御するように動作するコントローラとを備え、  
少なくとも一つのパケットに晒されるアモルファスシリコン膜の各箇所においてアモルファスシリコンをポリシリコンに変換するのに十分な所望のパケットの時間的パワープロファイル及びパケットエネルギーを各パケットが有するように、パルスエネルギーとパルス持続時間とパルス繰り返し率とが制御される、システム。

10

## 【請求項 2】

ファイバーレーザー源が、100 MHz から 200 MHz までの間の範囲のパルス繰り返し率で各パケット内のパルスを放出し、数十 kHz から略 1 MHz までの間のバースト繰り返し率でパケットを放出する、請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 3】

ファイバーレーザーが、50 ns から 500  $\mu$ s までの間の持続時間をそれぞれ有するパケットを制御可能に放出する、請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 4】

ファイバーレーザーが、連続するパルス間の時間間隔が 3 ns から 20 ns の範囲にあるように各パケット内のパルスを制御可能に放出する、請求項 1 に記載のシステム。

20

## 【請求項 5】

ファイバーレーザー源が、主発振器パワーファイバー増幅器 (MOPFA) 光学方式で構成されていて、

主発振器が、単一周波数ダイオードレーザー又は単一周波数ファイバーレーザーから選択されたシードであり、1  $\mu$ m の波長範囲において基本波長でシングルモード又は低次モードの光を放出するように動作し、低次モードのポンプ光の  $M^2$  値が最大で 2 であり、

パワー増幅器が、イッテルビウムドープブースターであり、各パケットのピークパワーが kW 範囲にあり、各パケットの平均パワーがピークパワーの略半分で kW レベルに達するように基本周波数のポンプ光を増幅するように動作し、

30

ファイバーレーザー源が、更に、イッテルビウムファイバーブースターの下流に位置する第二次高調波発生器を備え、第二高調波発生器が、ポンプ光の基本波長を、500 nm 台の波長範囲の膜照射光の第一動作波長になるように半分にするように動作する、請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 6】

ファイバーレーザー源が、膜と第二次高調波発生器との間に位置する第三次高調波発生器を更に備え、第三次高調波発生器が、膜放射光の第一動作波長を、300 nm 台の波長範囲の膜照射光の第二動作波長に変換するように動作する、請求項 5 に記載のシステム。

## 【請求項 7】

サイドポンプ法又はエンドポンプ法でブースターに結合されるポンプ光を発生させるポンプを更に備え、ポンプは、コントローラに動作可能に接続された電流変調マルチモードダイオードレーザーを含む、請求項 5 又は 6 に記載のシステム。

40

## 【請求項 8】

ファイバーブースターが、少なくとも一つのクラッドによって取り囲まれたモノリシックなマルチモードコアを有し、マルチモードコアが、基本波長において単一の基本モードをサポートし、ダブルボトルネック型の断面を有する、請求項 7 に記載のシステム。

## 【請求項 9】

ファイバーブースターが、

ファイバーブースターの遠位端に向けて広がるモノリシックなボトルネック型の断面を有して構成されたモノリシックなコアと、

50

コアを取り囲む少なくとも一つのクラッドと、

ファイバースタースターの遠位端に対向し、ポンプからの光を基本モードでポンプ光の方向の逆方向においてコア内に反射させるように構成された反射器と、を備える、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

主発振器とファイバースタースターとの間に結合され、音響変調器又は振幅変調器から選択された線幅拡大システムを更に備える請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 11】

多角形体、ガルバノメーター、音響光学変調器、又は電気光学変調器から選択されたパケットピッカーを更に備える請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 12】

ポンプが、連続方式又はパルス方式で動作し、均一パワー又は制御可能な可変パワーでポンプ光を出力するように構成されていて、ブースターが、各パケット内の均一な振幅で、又は不均一な振幅で各パルスを放出するように動作する、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 13】

アモルファスシリコン膜を結晶化させるためのシステムであって、不規則なパルス繰り返し率でアモルファスシリコン膜に入射する複数のパルスを放出するように動作するファイバーレーザー源を備えるシステム。

【請求項 14】

ファイバーレーザー源によってアモルファスシリコン膜をアニーリングするための方法であって、

20

バースト繰り返し率で基本波長の光の一続きのパケットを放出することと、

バースト繰り返し率よりも高いパルス繰り返し率で各バースト内の複数の光パルスを放出することと、

パルス繰り返し率と、各パルスのパルスパラメータとを制御して、所望のパケットの時間的パワープロファイル及び所望のパケットエネルギーを有する各パケットを提供することと、

アモルファスシリコン膜の少なくとも一つの所定の領域に光の一続きのパケットを向けることと、を備え、

所望の時間的パワープロファイル及び所望のパケットエネルギーが、光の少なくとも一つのパケットでアモルファスシリコン層の所定の領域を実質的に均一に結晶化させるのに十分なものである、方法。

30

【請求項 15】

パケットのデューティサイクルを制御することを更に備え、各パルスの制御可能なパラメータが、パルス持続時間、パルス振幅、デューティサイクル、及び、これらのパラメータの組み合わせから選択される。請求項 14 に記載のプロセス。

【請求項 16】

光の一続きのパケットを向けるステップが、

アモルファスシリコン層の全領域を結晶化させることによって、実質的に均一な多結晶粒構造を備えるアモルファスシリコンの全表面を提供すること、又は、

40

アモルファスシリコン層の領域を選択的に結晶化させることによって、実質的に均一な多結晶粒構造を備えるアモルファスシリコン層の複数の個々の領域を提供することを含む、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 17】

光の一続きのパケットを向けるステップが、X 及び Y 平面の一方向又は両方向においてアモルファスシリコン膜を結晶化させることを含む、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 18】

光の一続きのパケットをアモルファスシリコン膜に照射する前に、第二次高調波発生器を介して光のパケットを誘導することによって、1  $\mu$ m 波長範囲の基本波長を 500 nm 台の波長に変換することを更に備える請求項 14 に記載の方法。

50

## 【請求項 19】

5 百 nm 台の波長を 3 百 nm 台の波長に変換するように動作する第三次高調波発生器を介して 5 百 nm 台の波長の光のパケットを誘導することを更に備える請求項 18 に記載の方法。

## 【請求項 20】

アモルファスシリコン膜をアニーリングする方法であって、ファイバーレーザー源が、可変繰り返し率でアモルファスシリコン膜に入射する複数のパルスを放出して、アモルファスシリコン膜を実質的に均一に結晶化させることによって、アモルファスシリコン膜をポリシリコン膜に変換する、方法。

## 【発明の詳細な説明】

10

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、フラットパネルディスプレイの製造に関する。特に、本開示は、一つ以上のファイバーレーザーからのレーザービームでアモルファスシリコンバックプレーンを制御可能にアニーリングすることによって、実質的に均一な多結晶構造を提供するように構成されたファイバーレーザーベースの方法及びシステムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

フラットパネルディスプレイ (FPD, flat panel display) の製造環境は、世界中で最も競争が熾烈で技術的に複雑なものになっている。デバイスの設計業者及び製造業者は、携帯電話、PDA、他の小型製品に対するより高い解像度、より高い輝度、より大きいディスプレイ、より低い電力消費、より高速な映像性能という世界中の消費者の要求を満たすために努力し続けており、こうした要求は全て前世代の技術よりもコストがかかる。

20

## 【0003】

薄膜トランジスタ (TFT, thin film transistor) 技術は、図 1 に示されるような高解像度、高性能の液晶ディスプレイ (LCD, liquid crystal display) 又は有機発光ダイオード (OLED, organic light emitting diode) FPD のいずれであり得る FPD の基礎となる。TFT ディスプレイ回路は、アモルファスシリコン (a シリコン、a Si) の薄く半透明な層の上に作製され、各画素に対応するようにその層にわたってバックプレーンに配置される。

30

## 【0004】

産業界では、ポリシリコン (ポリ Si) の使用が実現されていて、これは、a Si の電荷移動度よりも略二桁大きな電荷移動度を有し、画素サイズを実質的に減少させて、開口比及び画素解像度を改善する。こうしたポリ Si の特性の結果として、現在では、携帯電子デバイスは、高解像度のフラットパネルディスプレイを特徴としている。

## 【0005】

結晶化 (アニーリング) によって a Si をポリ Si に変換する方法としては基本的に二つの異なる方法がある。一方は、熱アニーリング (TA, thermal annealing) 法であり、他方は、本開示で特に関心がある低温ポリシリコンアニーリング (LTPS, low temperature poly silicon annealing) 法である。後者では、a Si をまず熱処理して、液体アモルファス Si に変換し、次に、それを特定の期間にわたって溶融状態で維持する。溶融状態を維持するのに十分な温度範囲は、初期形成多結晶を成長させて結晶化させることを可能にするように選択される。LTPS 法は、エキシマレーザーアニーリング (ELA, excimer laser annealing) 及び逐次的横方向凝固 (SLD, Sequential lateral solidification) という一般的に二つの方法に基づいたものであり、後者が本開示の主題である。

40

## 【0006】

50

E L Aでは、エキシマレーザーが、基板上にコーティングされた a S i 膜に向けて、3 百 n m 台の波長のパルス紫外線 ( U V , u l t r a v i o l e t ) ビームを発射する。膜は、加熱されて、完全な膜厚よりも薄い厚さに溶融される。膜の底部に残存している a S i の孤立化したアイランドが、更なる結晶成長用のシードとして機能する。結果物の粒の均一性が、フラットスクリーン等のエンドデバイスの高性能にとって重要であるが、これは、少なくとも幅 0 . 4 m m のビームで膜を走査する際における同じフルエンスでの各箇所の複数回照射の結果として達成される。典型的には、膜の各箇所において所望の粒の均一性を達成するためには、少なくとも 2 0 パルスが必要である。

【 0 0 0 7 】

現状の E L A の開発を駆り立てる基本的な問題の一つは、膜製造のより柔軟な制御を可能にするように横方向成長の本質的に不安定な条件に対処することである。この点に関し、この問題に対処する色々な方法を、制御 S L S としてまとめることができる。

10

【 0 0 0 8 】

上述の伝統的な E L A とは対照的に、S L S は、エキシマレーザーからのビームによって膜の底部のシードアイランド無しで a S i 膜の全厚さを溶融させることを含む。結果として、結晶化は、溶融膜の両側からの成長が主となる。つまり、成長は横方向成長である。横方向に発達した結晶粒は、大きな水平寸法で広がり得る。粒がより大きく成長するので、電子移動度が上昇し、有利となる。

【 0 0 0 9 】

横方向成長は、膜でコーティングされた基板及びレーザービームを互いに相対的にシフトさせることによって達成される。膜の各箇所に対して照射を二度行うことを含む方法は、2 ショット S L S として知られている。

20

【 0 0 1 0 】

歴史的に、エキシマレーザーは、E L A 法及び S L S 法のいずれでも使用されていて、T F T フラットパネルディスプレイのアニーリングにとって支配的である。エキシマレーザーは、多様な処理パワーを提供し、その平均範囲は、3 0 0 W まで又はそれ以上の処理パワー、1 J 以上のエネルギー、3 0 から 3 0 0 n m までの範囲の典型的なパルス幅というものである。また、エキシマレーザーは、追加的な周波数変換無しで a S i に直接吸収される波長 ( 3 0 8 n m ) で U V 光を伝送する。

【 0 0 1 1 】

30

エキシマレーザーのパルス周波数は比較的低い。出願人の知るところでは、S L S 法においては 6 k H z を超えず、標準的な E L A においては顕著に低い。S L S に関して、高エネルギーに繋がる k H z 周波数では、エキシマは、丸一日かかる複数のガス変化を必要とし、大量生産には向いていない。

【 0 0 1 2 】

エキシマベースのアニーリングシステムは、大型の嵩張る構造 ( 図 2 及び図 3 ) であり、市場では数十万ドルから 1 0 0 0 万 ~ 1 5 0 0 万ドル以上のコストとなる。つまり、高価である。動作時には、エキシマはアップタイム ( 動作可能時間 ) が短いこと ( 又はダウンタイム ( 動作不可能時間 ) が長いこと ) で知られていて、その理由は多様なものであるが、特に、頻繁なガスの再充填と、これに続く調整が挙げられる。これに加えて、高いメンテナンスコストとして、数か月に一度のコストがかかり重労働なチューブの交換が挙げられる。

40

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 3 】

従って、単純で安価で、メンテナンスをほとんど又は全く必要としないファイバーレーザー源でエキシマレーザーを置き換える必要性がある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 4 】

ガラス、ポリマー、非シリコン結晶の基板上の a シリコン膜をアニーリングするため

50

の本発明の S L S 法及びレーザーベースのシステムは、a Si 膜を実質的に均一なサイズの多結晶粒構造に変換するように動作可能な一つ以上のファイバーレーザーの使用に基づく。a Si の各箇所の結晶化は、UV 光の複数のバースト又はパケットを箇所に照射することを含み、各バーストは、既存のエキシマレーザーのものとは比較にならないほど高い MHz パルス繰り返し率で放出される複数のパルスによって定められる。100 ps から 2 ns の範囲で制御可能に異なるパルス持続時間と、3 から 20 ns の間の範囲のパルス間距離では、レーザー照射の結果として励起される原子は、パルスとパルスとの間で移動度を失わない。

#### 【0015】

本発明の一態様によると、アモルファスシリコン (a Si) 膜を結晶化させるための本発明のシステムは、不規則なパルス繰り返し率で複数のパルスを放出するように動作可能なファイバーレーザー源を備えて構成される。

10

#### 【0016】

本開示の他の態様は、バースト繰り返し率 (BRR, burst repetition rate) で膜照射光の複数の離散的なパケットと、BRR よりも高いパルス繰り返し率 (PRR, pulse repetition rate) で放出される各パケット内の複数のパルスとを含むパルスラインビームを放出するようにファイバーレーザー源を制御するように動作可能なコントローラに関する。ファイバーレーザー源は、各パケットが、少なくとも一つのパケットに晒される膜の各箇所において a Si をポリシリコン (p Si) に変換するのに十分な所望のパケットの時間的パワープロファイル ( $W/cm^2$ ) 及びパケットエネルギーを有するように制御可能な各パルスのパルスエネルギー及びパルス持続時間並びに PRR で動作する。

20

#### 【0017】

上記態様の本発明のシステムの構造変形例の一つによると、ファイバーレーザー源は、主発振器パワーファイバー増幅器 (MOPFA, master oscillator power fiber amplifier) 光学方式で構成される。主発振器は、基本周波数でシングルモード (SM, single mode) 又は低次モード (LM, low mode) のポンプ光を出力するシードとして機能し、単一周波数 (SF, single frequency) ダイオードレーザー又は SF ファイバーレーザーから選択される。パワー増幅器は、1 マイクロメートル波長範囲の基本波長のポンプ光を増幅するように動作可能なイッテルビウム (Yb) ドープブースターとして構成される。システムは、更に、ポンプ光の基本波長を、a Si 膜に入射する膜照射光の 500 nm 台の波長、例えば 532 nm 等の波長に変換する第二次高調波発生器 (SHG, second harmonic generator) を含む。

30

#### 【0018】

本システムの他の構造変形例によると、第三次高調波発生器 (THG, third harmonic generator) が、上記本開示の態様に従って構成された構造に組み込まれる。THG は、SHG と a Si 膜との間に位置して、500 nm 台の波長を、膜照射光の 300 nm 台の波長、例えば 355 nm の波長に変換するように動作可能である。

40

#### 【0019】

上記各態様による本発明のシステムの更に他の構造変形例は、サイドポンプ方式でパワーファイバー増幅器をポンピングすることを含む。代わりに、ポンプ方式は、ポンプ光が膜照射光の方向と逆方向でパワー増幅器のコア端部に結合するように構成される。

#### 【0020】

上記各態様に開示される本発明のシステムの更に他の構造変形例では、ファイバー増幅器は、ダブルボトルネック型断面、又はボトルネック型断面を有する。パワーファイバー増幅器のコアは、複数の横モードを誘導し得るが、それらは基本波長におけるものであり、パワーファイバー増幅器は、基本モードのみで膜照射光を出力する。

#### 【0021】

50

上記各態様のファイバーレーザー源は、線幅拡張システムを備えて更に構成されて、パワーファイバー増幅器の有害な非線形効果の閾値を増大させる。また、これら二つの態様の本発明のシステムには、a Si 膜の所望の箇所に一続きのパルスを制御可能に伝えるパルスピッカーが設けられる。

【0022】

本発明の第三態様は、上記態様及びそれらの構造変形例の本発明のシステムでアモルファスシリコン(a Si)膜を制御可能にアニーリングするための方法に関する。本発明の方法は、バースト繰り返し率(BRR)で基本波長の光の一続きのパケットを放出することと、BRRよりも高いパルス繰り返し率(PRR)で各バースト内の複数の光パルスを放出することを含む。本発明の方法は、PRRと、各パルスのパルスパラメータとを制御して、所望のパケットの時間的パワープロファイル( $W/cm^2$ )及び所望のパケットエネルギーを有する各パケットを提供することを含む。所望の時間的パワープロファイル及び所望のパケットエネルギーは、膜に入射する少なくとも一つの光パケットでa Si層の所定の領域を実質的に均一に結晶化させるのに十分なものである。

【0023】

本開示の更なる態様に係る本発明の方法は、可変繰り返し率で複数のパルスを放出するように本発明のファイバーレーザー源を活動させること、及び、a Si膜の少なくとも一つの所定の領域にパルスに向けて、a Si膜を実質的に均一に結晶化させることを含む。

【0024】

本開示の第三の最後の態様の本発明の方法の一変形例は、パケットのデューティサイクル、パルス持続時間、パルス振幅、パルスのデューティサイクル、又はこれらのパラメータの所望の組み合わせを制御することに関する。

【0025】

方法に関するこれら二つの態様の他の変形例によると、本発明の方法は、XY平面の一方又は両方向においてa Si膜を結晶化させることを含む。

【0026】

上記及び他の態様、特徴及び利点は、図面と共に以下の具体的な説明から容易に理解されるものである。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】フラットスクリーンの分解図である。

【図2】LTPS法で用いられるエキシマレーザーの概略図である。

【図3】図2のエキシマレーザーを組み込んだ典型的なLTPSモジュールの図である。

【図4】本開示のシステムの概略図である。

【図5】図4の本発明のシステムのレーザー源を示す。

【図6】図5の本発明のレーザー源の光学系を示す。

【図7】図4及び図5の本発明のレーザー源から放出されたパルスの連続的なバーストの概略図である。

【図8】一実施形態に係る本発明のレーザー源のブースターの概略図である。

【図9】他の実施形態に係る本発明のレーザー源のブースターの概略図である。

【図10】パルスのバーストの好ましい形状を示す。

【図11】LCDバックプレーンの平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、本発明の実施形態を詳細に説明する。可能な限り、同じ又は同様の参照番号を図面及び明細書において用いて、同じ又は同様の部分又はステップを示す。図面は、単純化されていて縮尺通りではない。特に断らない限り、明細書及び特許請求の範囲の単語及び用語は、ダイオード及びファイバーレーザー分野の当業者にとって一般的で慣習になっている意味として与えられる。“結合”及び同様の単語は、必ずしも直接的な直の接続を示

10

20

30

40

50

すものではなく、自由空間や中間要素を介した機械的及び光学的接続も含む。本開示の基本的な目標は、標準的な E L A 及び S L S のどちらも含むシリコンアニーリング法の生産性を上昇させ、現状で利用可能なアニーリングシステムの製造コスト及び動作コストを顕著に減少させることである。本発明のアニーリングシステムは、上記方法を行うために特別に構成されたファイバーレーザー源に基づく。本目標は、a S i 層を実質的に均一に結晶化させるために可変繰り返し率で複数のパルスを放出するファイバーレーザー源を備えるシステムによって達成される。

#### 【0029】

図4及び図5は、本発明のアニーリングシステム50の基本構成を示す。一般的に、システム50は、レーザーモジュール55を備えて構成されたレーザー源を含み、そのレーザーモジュール55は、シードレーザー、任意で一つ以上のファイバー前置増幅器、ファイバーブースター、電子機器、ポンプ、所望のレーザー動作に必要な他の全ての手段を収容する。また、システム50は、ポンプ光の基本周波数を高調波に変換する一つ以上の高調波発生器、ガイド及び集束光学系を含む携帯型光学レーザーヘッド56を含む。フレキシブルケーブル54が、自由空間にわたって延伸し、モジュール55及び光学ヘッド56を光学的に結合させるブースターステージの活性ファイバーは遮蔽される。代わりに、フレキシブルケーブル54は、モジュール55内に又は別途のモジュールに収容されたブースターを備える標準的な伝送ファイバーとしても機能し得る。

10

#### 【0030】

集束光学系は、a S i 膜62を支持するガラス層又はサブ基板66を含む基板60にパルスレーザー出力ビーム58を誘導する。コリメートされた出力ラインビーム58、例えば、 $730 \times 0.4 \text{ mm}^2$ の寸法のラインビームが、a S i 62をアニーリングして、ポリシリコンの実質的に均一な粒64を形成する。基板60は、並進移動ステージ85に固定されて、ラインビーム58が、静止したa S i 膜62の表面にわたる走査を行えるようにする。代わりに、膜を備える基板をレーザーヘッド56に対して変位させ得る。更に他の可能性としては、レーザーヘッド56及び基板60を両方とも互いに対して制御可能に変位させる。

20

#### 【0031】

次に図6を参照すると、図4のシステム50に備わる例示的なファイバーレーザー源が示されている。モジュール55は小型軽量である。特に、レーザー源の出力パワーが互いに近いものとして、モジュール55と図2のエキシマレーザーを比較すると、そのモジュールのサイズは図面に示されるように20ドル紙幣相当であり、モジュールの小型さを実感できる。モジュール55は重さ略12kgで、その形状因子は $532 \text{ mm} \times 332 \text{ mm} \times 52 \text{ mm}$ である。

30

#### 【0032】

高パワー“グリーン”UVレーザーの大抵の応用は、比較的高い平均パワー及び比較的低いピークパワーから主に恩恵を受けている。こうした条件は、高い繰り返し率で、高いデューティサイクルの準連続波(QCW, quasi continuous wave)のレーザー源50によって最良に満たされる。

40

#### 【0033】

レーザー源は、主発振器パワーファイバー増幅器(MOPFA, master oscillator power fiber amplifier)設計を有し、シード及び少なくとも一つの増幅段を含む。シード80は、ダイオード又はファイバーレーザーのいずれかから選択可能である。シード80は、 $M^2$ が最大で2の低次(横)モードIR光を出力し得るが、図面に示される例示的なシード80は、単一横モード(SM, single transverse mode)で、単一周波数(SF, single frequency)で、直線偏光(LP, linearly polarized)レーザーで、分布帰還型(DBF, distributed feedback)の半導体レーザーである。シードレーザー80の入力における電流は、シードレーザードライバー18によって直接変調される。マッピングされたa S i 膜52(図4)に対してアニーリング

50



すべき所望の箇所が既知の方法で決定されると、シードレーザドライバ１８が、コントローラ８５から受信した信号に応じて動作する。

【００３４】

図７に示す発明の顕著な特徴の一つでは、不均一な繰り返し周波数又は率において光パルスを放出するようにシード８０を駆動させる。特に、シード８０は、制御可能なバースト繰り返し率（ＢＲＲ，burst repetition rate）で波長１０６４ nmのパルス７０の一続きのパケットを出力する。しかしながら、各パケット内の一続きのパルス７２を、ＢＲＲとは異なるパルス繰り返し率（ＰＲＲ，pulse repetition rate）で発生させる。

【００３５】

ＰＲＲは、結晶化プロセスの時定数以下、好ましくはそれよりも低くなるように選択され、１００ MHz から２００ MHz の間で異なり得る。本発明の結晶化プロセスでは、時定数は略２０ ns である。現状において、システム５０のワーキングモデルは、１５０ MHz のＰＲＲで動作する。本発明の範囲内のパルス持続時間は、１００ ps から略２ ns までの間で制御可能なものとなり得る。パルス間持続時間が時定数を超えないという条件において、デューティサイクルもコントローラ９２によって制御可能に異なり得る。現状では、実験的システムは、パルス幅１．３ ns で、隣接するパルス間の時間間隔が略６．６７ ns で動作する。ＰＲＲ及びデューティサイクルを変更することによって、パルス幅は容易に調整可能である。例えば、ＰＲＲを増大させる及び／又はデューティサイクルを減少させることによって、パルス幅は減少する傾向にある。

【００３６】

各パケットの持続時間は、３０ ns から５００ μ m までの間で制御可能に異なり得て、５０から２００ μ J までで異なるパケットエネルギーをそれぞれ有する二つの３００ ns バーストで同じ照射領域内に粒の所望の均一性を与えるためには、３００ ns で十分である。ＢＲＲは以下の二つの条件を満たすように選択される。１．溶融Ｓｉが凝固すること； ２．発生した熱が、基板６０を損傷せずに基板６０内に拡散すること。両方の条件は、Ｘ方向及びＹ方向の一方に沿って高度に均一な粒を有する p Si 64 を与える略７５ kHz から略１ MHz までの間の範囲のＢＲＲで良好に満たされる。

【００３７】

まとめると、各パルスのパルスエネルギー及びパルス持続時間並びにＰＲＲは、各パケットが、少なくとも一つの光パケットに晒される膜の各箇所における a Si の変換を与えるのに十分な所望のパケットの時間的パワープロファイル（一秒当たりの  $W/cm^2$  ）及びパケットエネルギーを有するように制御される。時間的パワープロファイル及びパケットエネルギーは、当業者には既知のように容易に測定可能なパラメータである。

【００３８】

シード８０から基本波長で放出された赤外（ＩＲ，infrared）光は、一つ以上の任意のイッテルビウム（Ｙｂ）ドープファイバー前置増幅器８２及びＹｂファイバースター８４において最大で数 kW レベルの平均パワーまで順次増幅される。増幅ＩＲ光の単一周波数及び高次性の両方が、第二次高調波発生器（ＳＨＧ，second harmonic generator）８６、そして、もし利用するのであれば、第三次高調波発生器９０を含む周波数変換方式の高い変換効率をもたらす。一方、ファイバー増幅器における高パワー、つまりは高変換効率の制限の一つは、特に、誘導ブリルアン散乱（ＳＢＳ，stimulated Brillouin scattering）という望ましくない非線形現象として知られている。ＳＢＳの影響を緩和するための知られている多様な方法のなかでは、シード８０の線幅を広げて、ブースター８６におけるＳＢＳの閾値を増大させることが用いられることが多い。そこで、システム５０は、ファイバー増幅器におけるＳＢＳ閾値を数 kW レベルに増大させるように動作可能な線幅拡大システム（ＬＢＳ，linewidth broadening system）９４を更に有する。ＬＢＳ９４は、ノイズ源と、ＲＦ増幅器と、位相又は振幅変調器とを備えて構成され得る。使用される変調器の種類にかかわらず、拡大システムは、シード８０からの光の単一周

10

20

30

40

50

波数の線幅を 10 から 40 GHz までの間の線幅に一樣に広げるように構成される。

【0039】

図 6 に加えて図 8 を参照すると、ブースター 84 は、基本波長の S F I R 光を最大で数 kW のピークパワーレベルまで増幅するように動作可能であり、一方、I R 光の平均パワーはピークパワーの略 1 / 2 となり得る。上述のように、ブースター 84 は、kW レベルのピークパワーで動作するが、ブースター 84 の入力において広げられた光の線幅に起因するだけではなく、ブースターの構成に起因して S B S 閾値未満で動作する。特に、ブースター 84 の Y b ドープアクティブファイバー 95 は、ダブルボトルネック型のモノリシックな MM コア 102 を有するが、その MM コア 102 は、単一の基本モードで実質的に放射を放出するように構成される。特に、MM コア 102 は、入力及び出力における同一の小さな直径の端部領域 106 を含み、その端部領域の寸法は、アクティブファイバー 95 の両端に溶融接合された入力パッシブ S M ファイバー 100 及び出力パッシブ S M ファイバー 112 にそれぞれ実質的に整合するモードフィールド直径を有するようにされる。更に、MM コア 102 は、端部領域の直径よりも大きな均一の直径を有する MM コアの中心の増幅領域の側面に位置する入力及び出力のモード変換テーパ領域 110 を備えて構成される。中心領域の直径の増大は、誘導された光のパワー密度を減少させて、これは S B S 閾値を増大させる。単一又は複数のクラッド 108 は、コア 102 と同じ断面を有するか、又は、標準的なシリンダー状の断面な等の異なる断面を有し得る。

【0040】

図 8 に示されるように、ブースター 84 はサイドポンプされる。ブースターのポンプ 114 は、コントローラ 94 によって制御可能な複数の MM 電流変調ダイオードレーザーを備えて構成され得る。MM ポンプ光伝送ファイバー 116 は、増幅コア領域 104 を取り囲むクラッド領域 108 に平行に延伸してこれに結合された中心部分を有する。

【0041】

図 9 は、ブースター 84 の代替構成及びエンドポンプ方式を概略的に示す。ブースター 84 は、フレキシブルケーブル 54 (図 4) によって取り囲まれて、図 8 のモノリシックな MM コア 102 を有する。MM コア 102 は、レーザーヘッド 56 に取り付けられたブースター下流端に向けて広がるシングルボトルネック型の断面を備えて構成される。MM コアの他方の上流端は、I R 光がこの端に結合される際に一つの基本モードのみが MM コア 102 内に励起されるような寸法にされる。一つ又は複数のポンプ伝送ポンプファイバー 116 は、図 8 のポンプ 114 からのポンプを誘導するものであり、ケーブル 54 内に延伸し、ブースター 84 の広がった下流端に機械的に結合されてもされなくともよい。ポンプ伝送ファイバー 116 から放出されたポンプ光は、湾曲した反射器 118 に入射し、その反射器 118 は、信号光 I R の方向に対して逆伝播方向 P L でコア 101 の遠位端内にポンプ光を誘導するように構成される。増幅された I R 光は、光伝播方向において反射素子 118 に設けられた開口 120 を通って伝播する。

【0042】

図 4 及び図 8 と組み合わせて再び図 6 を参照すると、コントローラ 92 は、ポンプ 114 (図 8) のドライバに結合される信号を発生させて、ポンプダイオードレーザー 114 の入力における電流を変調させるように構成される。大抵の場合、本開示のレーザー源は、連続的に動作するポンプ 114 (図 8) で動作する。しかし、連続ポンプ動作が不要であり、更にはレーザーシステム 50 の完全性を損ない得るという状況も容易に想定される。例えば、B R R が低過ぎる場合、ブースター 84 のオーバーポンプは、壊滅的な結果に繋がり得る。段 85 (図 4) の周期的な加速 / 減速も、ポンプ 114 の動作をシャットダウンする理由となり得る。ポンプ 114 の停止を要するこのような状況及び他の状況のため、コントローラ 92 は、一時的にポンプ 114 をシャットダウンする信号を発生させ得る。

【0043】

ポンプ 114 は、コントローラ 94 からの信号に応答した可変パワーでポンプ光を出力するようにも動作し得る。これは、パケット 70 内の個々のパルス 72 の振幅を異ならせ

10

20

30

40

50

ることを可能にし、これは、図 10 に見て取れるように、個々のパケット 70 の全エネルギー及びパケット毎の時間的パワープロファイルの制御可能な調整に繋がる。

【0044】

増幅された I R 光は更に S H G 86 に入射し、その S H G 86 は、非線形 L B O 結晶を含み、S H G の一回通過で基本波長の増幅 I R 光を変換し、緑色光を、例えば、波長 532 nm で、数百ワットから略 1.5 kW までの範囲の平均パワーで出力する。シリコン固有の特性に起因して、確立された品質基準で、図 4 の a S i 膜 62 を結晶化させて、p S i 膜 64 を形成するのに十分な緑色光の特性を実現することができる。

【0045】

代わりに、I R 及び緑色光（例えば、500 nm 台）のビームは、自由空間にわたって、任意で上流のフィルタ 88 を通って伝播し続けて、能動的安定化 / 問題解決用の性能を測定するピックアップを実現し、L B O 結晶を備えて一回通過方式で同じく構成される第三次高調波発生器 (T H G, t h i r d h a r m o n i c g e n e r a t o r) 90 に当たる。T H G 90 は、基本周波数の第三次高調波を発生させるように構成され、波長略 355 nm で U V 範囲の光を発生させるような和周波混合を用いる。図 4、図 6 及び図 7 のファイバーレーザー源は、510 ~ 540 nm の波長範囲で 15 % から 30 % までの間のウォールプラグ効率で動作する。

【0046】

図 6 の本発明のシステム 50 は、パケットピッカー / スプリッター 95 を備えて構成され得て、パケットピッカー / スプリッター 95 は、システム 50 が 500 nm 台の波長範囲で動作するのか 300 nm 台の波長範囲で動作するのかに応じて上流のフィルタ 88 又は下流のフィルタ 92 のいずれかの下流に位置する。この構成要素は多様な状況において利用され得る。上述のように、出力パワーは増大する傾向にある。これは、バーストの繰り返し率を増大させることによって最も簡単に実現される。しかしながら、B R R が高過ぎる場合、連続するパケット間の時間は、溶融 S i が十分に冷却するには不十分となり得る。そこで、パケットピッカー、例えば、多角形体、ガルバノメーター、機械的ツール、音響光学変調器、電気光学変調器等を用いて、膜の初期領域に対する照射を行った元々のパケットに続く第二のパケットを、異なる領域に対する照射を行うようにリルートすることができる。一方、元々の領域は、第二のパケットに続くパケットによって照射され得る。こうしたツール及びその動作の詳細は、本願と同時に出願された米国特許出願の主題の一部である。

【0047】

図 6 及び図 7 と共に図 10 を参照すると、上述のように、制御されるパラメータとして、特に、パルス繰り返し率、バースト繰り返し率、パルス及びパケットのデューティサイクル、個々のパルスの強度、つまりはパケットエネルギー、その時間的パワープロファイルが挙げられる。好ましくは、各パケット 70 は、立ち上がりで高いピークパワーを有し、立ち下がりで低い強度ピークを有するように成形される。

【0048】

図 11 は、数百万個の固体シャッタのアレイを典型的には有する高解像度 L C D を示し、これらシャッタは、それぞれ赤色、緑色、青色の画素 120 においてバックライトからの光を透過させ又は遮断する。各画素は、実際の液晶物質又は透明領域 140 を制御する透明電極を有する。各電極は、光の一部を遮断するトランジスタ領域とも称される T F T 160 によって制御され、また、T F T と不透明なシリコン領域を共有する。不透明な T F T と他の画素の透明領域との間の面積比は、開口比と呼ばれる重要な測定基準の一つである。原理的には、T F T 領域 160 のみが結晶化される一方、a S i 62 の残りの部分はそのままとなり得る。本開示のシステム 50 では、p S i を選択的に形成し得て、不透明 / 透明の面積比は 1 : 1 から 1 : 5 までとなる。

【0049】

上記説明に基づくと、本開示のファイバーベースのシステム 50 の生産性 A、つまり、何平方メートル (m<sup>2</sup>) の基板 60 を、時間単位当たり (一時間当たり等) でアニーリン

10

20

30

40

50

グすることができるのかという生産性は、システム 5 0 及び既存のシステムの出力パワーが実質的に同じで、例えば 1 . 2 k W であるとする、既知の L T P S E L A 法における生産性よりもはるかに高い。その理由は、第一に、本開示のシステム 5 0 の出力部が、基板 6 0 ( 図 4 ) の各領域又は選択された領域に、a シリコンを結晶化させるのに十分なパルスの少なくとも一つのバーストを、2 0 回ではなくて、それよりも顕著に少ない回数で照射するように構成され得るからである。そして、実験データに基づくと、各トランジスタ領域のレーザー処理される面積は、L T P S E L A 法でのトランジスタ領域の面積と比較して、略 5 0 % に減少し得る。総合的には、生産性を増大させる上記本開示の要因に基づくと、本開示の L T P S 法の生産性  $A_n$  は、既知の L T P S E L S 法の生産性  $A_o$  よりも 1 0 から 2 0 倍高くなり得て、つまり、 $A_n ( 1 0 \sim 2 0 ) A_o$  となり得る。

10

#### 【 0 0 5 0 】

本開示のファイバーレーザーベースのアニーリングシステムに多様な修正及び変更を行うことができることは当業者には明らかである。従って、本開示は、添付の特許請求の範囲及びその等価物の範囲内にある本開示の修正及び変更に及ぶものである。

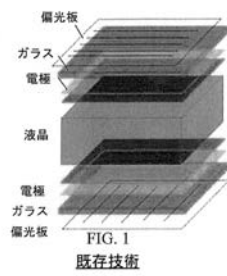
#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 5 1 】

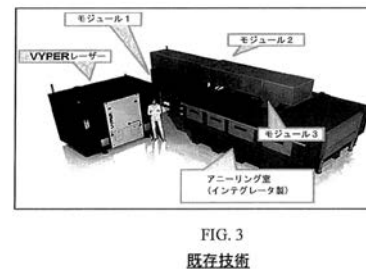
- 5 0 アニーリングシステム
- 5 4 フレキシブルケーブル
- 5 5 レーザーモジュール
- 5 6 レーザーヘッド
- 5 8 ビーム
- 6 0 基板
- 6 2 アモルファスシリコン
- 6 4 ポリシリコン
- 6 6 サブ基板
- 8 5 並進移動ステージ

20

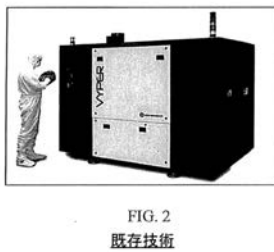
【図 1】



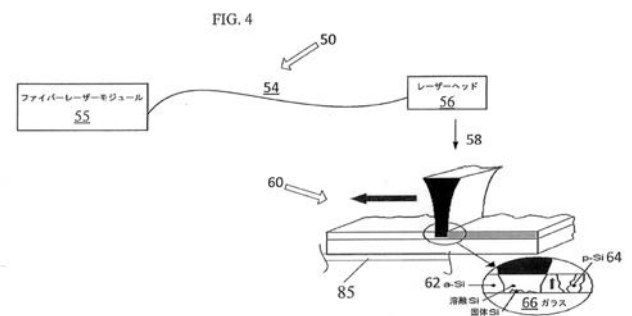
【図 3】



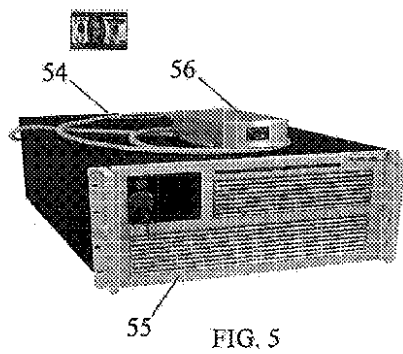
【図 2】



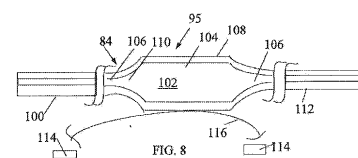
【図 4】



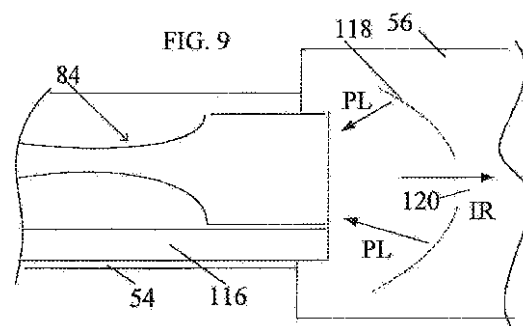
【図 5】



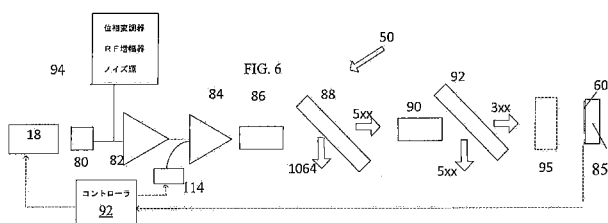
【図 8】



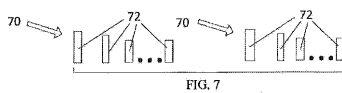
【図 9】



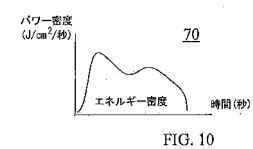
【図 6】



【図 7】



【図 10】



【図 11】

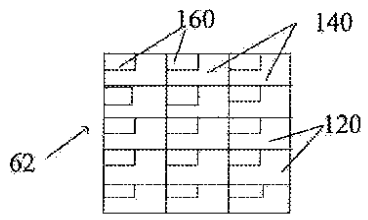




FIG. 11

## 【国際調査報告】

<b>INTERNATIONAL SEARCH REPORT</b>		International application No. <b>PCT/US2015/038785</b>
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>H01L 21/762(2006.01)i, H01L 21/822(2006.01)i, H01L 21/268(2006.01)i</b>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L 21/762; H01L 21/268; H01S 3/10; C23C 26/00; C23C 14/28; B32B 9/04; H01B 1/00; H01L 21/822		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: laser, silicon, crystallize, anneal, pulse, burst		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007-0178674 A1 (YUTAKA IMAI et al.) 02 August 2007 See abstract, paragraphs [0032], [0066]-[0182], [0215] and figures 1-25.	13, 20
Y		1-4, 11, 14-19
A		5-10, 12
Y	US 2011-0133129 A1 (MAKOTO MURAKAMI et al.) 09 June 2011 See abstract, paragraphs [0036]-[0065] and figure 1C.	1-4, 11, 14-19
Y	US 2014-0050234 A1 (VALERI V. TER-MIKIRTYCHEV) 20 February 2014 See abstract, paragraph [0077] and figure 6.	18-19
A	US 2011-0086441 A1 (NORIHITO KAWAGUCHI et al.) 14 April 2011 See abstract, paragraphs [0068]-[0092] and figures 1A-1B.	1-20
A	US 2010-0272129 A1 (DONALD J. HARTER et al.) 28 October 2010 See abstract, paragraphs [0150]-[0153] and figures 1-2.	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 30 September 2015 (30.09.2015)		Date of mailing of the international search report <b>30 September 2015 (30.09.2015)</b>
Name and mailing address of the ISA/KR  International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon Metropolitan City, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-472-7140		Authorized officer CHOI, Sang Won Telephone No. +82-42-481-8291 

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No.

**PCT/US2015/038785**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007-0178674 A1	02/08/2007	KR 10-2004-0052468 A TW 200304175 A US 2004-0097103 A1 US 2005-0252894 A1 WO 03-043070 A1	23/06/2004 16/09/2003 20/05/2004 17/11/2005 22/05/2003
US 2011-0133129 A1	09/06/2011	None	
US 2014-0050234 A1	20/02/2014	US 2013-0044768 A1 US 8774236 B2 US 8817827 B2 WO 2014-028353 A1	21/02/2013 08/07/2014 26/08/2014 20/02/2014
US 2011-0086441 A1	14/04/2011	CN 102057467 A CN 102057467 B KR 10-1161630 B1 KR 10-2011-0004437 A US 8115137 B2 WO 2009-150733 A1	11/05/2011 13/02/2013 02/07/2012 13/01/2011 14/02/2012 17/12/2009
US 2010-0272129 A1	28/10/2010	US 2006-0120418 A1 US 2009-0097515 A1 US 2012-0120971 A1 US 2013-0293941 A1 US 2014-0376084 A1 US 7508853 B2 US 7782912 B2 US 8094691 B2 US 8509270 B2 US 8855151 B2	08/06/2006 16/04/2009 17/05/2012 07/11/2013 25/12/2014 24/03/2009 24/08/2010 10/01/2012 13/08/2013 07/10/2014



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
**H 0 1 L 21/268 (2006.01)** H 0 1 L 21/268 J

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ユーリ・エロキン  
 アメリカ合衆国・マサチューセッツ・01540・オックスフォード・オールド・ウェブスター・ロード・50・アイピージー・フォトニクス・コーポレーション内

(72)発明者 イゴール・サマルツェフ  
 アメリカ合衆国・マサチューセッツ・01540・オックスフォード・オールド・ウェブスター・ロード・50・アイピージー・フォトニクス・コーポレーション内

Fターム(参考) 2K102 AA07 AA08 BA18 BB02 BC01 BD10 DA01 DC07 DD06 EB06  
 EB20  
 5F152 AA08 BB02 CC02 CC04 CE05 FF05 FF09 FF28 FF43 FF44  
 FF47 FG05 FG19 FG23 FH02 FH03  
 5F172 AF06 AM05 AM08 DD03 EE13 NR03 NR22 ZZ20