

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4289798号
(P4289798)

(45) 発行日 平成21年7月1日(2009.7.1)

(24) 登録日 平成21年4月10日(2009.4.10)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 L 21/82	(2006.01)	HO 1 L 21/82	R
HO 1 S 3/00	(2006.01)	HO 1 S 3/00	B
HO 1 L 21/3205	(2006.01)	HO 1 L 21/88	Z
HO 1 L 23/52	(2006.01)	HO 1 L 27/10	4 3 1
HO 1 L 27/10	(2006.01)	HO 1 L 21/304	6 4 5 D

請求項の数 22 (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2000-587922 (P2000-587922)	(73) 特許権者	504250923
(86) (22) 出願日	平成11年12月16日 (1999.12.16)		ジーエスアイ・グループ・コーポレーション
(65) 公表番号	特表2002-532891 (P2002-532891A)		アメリカ合衆国マサチューセッツ州01730-1409, ベットフォード, ミドルセックス・ターンパイク 125
(43) 公表日	平成14年10月2日 (2002.10.2)	(74) 代理人	100089705
(86) 国際出願番号	PCT/US1999/029820		弁理士 社本 一夫
(87) 国際公開番号	W02000/035623	(74) 代理人	100071124
(87) 国際公開日	平成12年6月22日 (2000.6.22)		弁理士 今井 庄亮
審査請求日	平成18年11月21日 (2006.11.21)	(74) 代理人	100076691
(31) 優先権主張番号	09/212, 974		弁理士 増井 忠式
(32) 優先日	平成10年12月16日 (1998.12.16)	(74) 代理人	100075270
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 小林 泰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ処理

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリコン基板上の目標構造を気化させるシステムにおいて、
 レーザ・ポンピング源と、
 前記レーザ・ポンピング源によりポンピングされるよう構成されたレーザ共振器キャビティと、

前記レーザ共振器キャビティに蓄積されたエネルギーからパルス化されたレーザ出力ビームを生成し、前記目標構造を気化させるため、前記シリコン基板の吸収端より下で且つ $0.30 \mu\text{m}$ と $0.55 \mu\text{m}$ の間の低い波長の前記パルス化されたレーザ出力ビームを前記シリコン基板上の前記目標構造に指向させるよう構成されたレーザ出力装置であって、前記シリコン基板が前記レーザ出力に対して前記目標構造の下に位置し、前記レーザ出力装置が前記レーザ出力を或る入射ビーム・エネルギーで生成するよう構成されている前記レーザ出力装置と、

前記目標構造に対して前記のパルス化されたレーザ・ビームの位置と同期したコンピュータ制御されたタイミング信号を発生し、入射ビームエネルギーの選択的な低減を可能にするようプログラムされたコンピュータと、

前記のパルス化されたレーザ・ビームの出力パルスを前記目標構造に送るよう前記タイミング信号に基づいて制御可能にスイッチング可能である光学的スイッチと、

光学的装置であって、 $1.047 \mu\text{m}$ から $1.32 \mu\text{m}$ の波長でFナンバーを有する別の光学的装置により前記目標構造上へ集束されるであろうスポット・サイズより比例して

10

20

小さいスポット・サイズでもって前記入射ビーム・エネルギーを前記目標構造上へ集束させる少なくとも1つの集束構成要素を含む前記光学的装置と、を備え、

前記目標構造を気化する前記入射ビーム・エネルギーが、前記シリコン基板の吸収端より下の比較的高い波長を用いて与えられる比較的高いビーム・エネルギーより小さいことによって、前記シリコン基板上の選択された目標構造が、シリコン基板上の近接して離間した構造の中から、高歩留まりで除去され得るようにする、

システム。

【請求項2】

前記レーザ出力装置が波長シフトを備える請求項1記載のシステム。

【請求項3】

前記目標構造が銅又は金を備える請求項1記載のシステム。

【請求項4】

前記シリコン基板上の前記目標構造が集積回路のリンクを備える請求項1記載のシステム。

【請求項5】

前記シリコン基板に沈積されるのを期待されるエネルギーが、エネルギーを前記目標構造の中に沈積させるに必要な入射ビーム・エネルギーから前記目標構造に沈積されるエネルギーを減算したものに前記シリコン基板の吸収度を乗算したものに比例する請求項1記載のシステム。

【請求項6】

前記シリコン基板内で沈積 (deposit) することが予想される比較的低いエネルギーの値に対応する、前記の識別された低い波長がスペクトルの緑領域内にある請求項1記載のシステム。

【請求項7】

前記入射ビーム・エネルギーでの前記レーザ出力が短いパルスを備える請求項1記載のシステム。

【請求項8】

シリコン基板上の目標構造を気化させる方法において、

前記シリコン基板の吸収端より下で且つ $0.30 \mu\text{m}$ と $0.55 \mu\text{m}$ の間の低い波長のレーザ出力を生成するよう構成されたレーザ装置を設けるステップと、

前記目標構造を気化させるため、前記レーザ出力を前記シリコン基板上の前記目標構造に前記波長及び或る入射ビーム・エネルギーで指向させるステップであって、前記シリコン基板が前記レーザ出力に対して前記目標構造の下に位置される、前記指向させるステップと、

前記目標構造に対して前記のパルス化されたレーザ・ビームの位置と同期したコンピュータ制御されたタイミング信号を発生するステップと、

前記のパルス化されたレーザ・ビームの出力パルスを前記目標構造へ送ることによって、入射ビームエネルギーの選択的な低減を可能にするように、前記タイミング信号に基づいて光学的スイッチを制御可能にスイッチングするステップと、

$1.047 \mu\text{m}$ から $1.32 \mu\text{m}$ の波長でFナンバーを有する光学的装置により前記目標構造上へ集束されるであろうスポット・サイズより比例して小さいスポット・サイズでもって前記入射ビーム・エネルギーを前記目標構造上へ集束させるステップと、を備え、

前記目標構造を気化する前記入射ビーム・エネルギーが、前記シリコン基板の吸収端より下で比較的高い波長を用いて与えられる比較的高いビーム・エネルギーより小さいことによって、前記シリコン基板上の選択された目標構造が、シリコン基板上の近接して離間した構造の中から、高歩留まりで除去され得るようにする、

方法。

【請求項9】

前記の識別された低い波長がスペクトルの緑領域内にある請求項8記載の方法。

【請求項10】

10

20

30

40

50

前記入射ビーム・エネルギーでの前記レーザー出力が短いパルスを備える請求項 8 記載の方法。

【請求項 1 1】

前記レーザー共振器キャビティが、基板内に沈積することが予想される、比較的低い値のエネルギーに対応する波長においてレーザー放射を生成する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 2】

前記目標構造が、アルミニウムの導電率より大きい導電率を有する金属を備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 3】

前記基板上的の前記目標構造が、半導体素子のリンクを備える、請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 1 4】

前記基板上的の前記目標構造が、メモリ素子を備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 5】

前記シリコン基板内に沈積 (deposit) することが予想される、比較的低いエネルギーの値に対応する、前記識別された波長が、スペクトラムの可視領域内にある、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 6】

前記レーザー共振器キャビティが、バナジン酸ネオジムレーザー共振器キャビティである、請求項 1 に記載のシステム。

20

【請求項 1 7】

前記識別された低い波長が、スペクトラムの可視領域内にある、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記目標構造が、アルミニウムの導電率より大きい導電率を有する金属を備える、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記金属が、銅又は金を含む、請求項 1 8 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記シリコン基板が、半導体素子のリンクを備える、請求項 8 に記載の方法。

30

【請求項 2 1】

前記シリコン基板が、集積回路を備える、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記集積回路が、メモリ素子を備える、請求項 2 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

[発明の背景]

本発明は、集積回路又はメモリ・デバイスのシリコン基板上的の近接して離間した金属リンク構造又は「ヒューズ」を高歩留まりで除去するシステム及び方法を含む、レーザー処理システム及び方法に関する。

40

【0002】

レーザー・システムを用いて、欠陥素子を除去し且つそれらをこの目的(「冗長メモリ修理」)のため設けられている冗長素子と置換し、又は論理デバイスのプログラミングのような目的のため、ASIC、DRAM及びSRAMのような集積回路及びメモリ・デバイスにおけるヒューズ構造を除去する(「リンクを飛ばす」)ことができる。リンク処理レーザー・システムは、General Scanning Inc.により製造されているM320及びM325システムを含み、それらのシステムは、1.047 μm、1.064 μm及び1.32 μmを含む種々の波長にわたりレーザー出力を生成する。

【0003】

経済的要請は、より小さく、より複雑で、より高密度の半導体構造の開発に導いてきた。

50

これらのより小さい構造は、比較的高速度で動作するという利点を持つことができる。また、半導体デバイスの素子はより小さくなることができるので、より多くの素子が単一のウェーハに含められることができる。半導体製造プラントにおいて単一のウェーハを処理するコストはウェーハ上の素子の数とは殆ど無関係であるので、より多くの数の素子は素子当たりのより低いコストに変換されることができる。

【0004】

1980年代に、半導体デバイスの素子は、多くの場合ポリシリコン又はケイ化物の相互接続を含んでいた。ポリ・ベース (poly-based) の相互接続が比較的弱い導体であるにも拘わらず、それらは、その時に入手可能であるプロセスを用いて容易に製造され、そしてその時に通常入手可能なNd:YAGレーザにより発生される波長に良く適していた。しかしながら、幾何学的形状が小さくなるにつれ、ポリシリコンの相互接続及びリンク構造の弱い導電率が問題となり、そして一部の半導体製造業者はアルミニウムに切り替えた。ある一定の従来のレーザはアルミニウム・リンクを切断しなく、並びにそれらはポリシリコン・リンクを切断してしまい、そして特にシリコン基板に対するその損傷が発生することがあることが分かった。この状況は、アルミニウムでの反射が非常に高く且つ吸収度が低いことにより説明され得る。従って、この低い吸収度を克服するためエネルギーの増大を用いなければならない。より高いエネルギーは、多すぎるエネルギーを用いたとき基板を損傷しがちである場合がある。

10

【0005】

Sun他の米国特許No. 5,265,114は、アルミニウム、及び例えばニッケル、タングステン及びプラチナのような他の金属を切断するため適切なレーザ波長を選択するための「吸収度対比」モデルを促進させた。特に、この特許は、シリコンが殆ど透過的であり且つ金属リンク材料の光学的吸収挙動がリンクを処理するのに十分である波長範囲を選択することを記載する。その特許は、1.2から2.0 μm の波長範囲が、1.064 μm 及び0.532 μm のレーザ波長と比較して、シリコン基板と高導電率リンク構造との間の高い吸収度対比を与えることを述べている。

20

【0006】

[発明の概要]

本発明は、基板上の目標構造を気化させるシステム及び方法を提供する。本発明に従って、単位エネルギーを目標構造に沈積する (deposit) に必要な入射ビーム・エネルギーの計算が波長の関数として実行される。次いで、入射ビーム・エネルギーに対して、基板に沈積されるのを期待されるエネルギーが波長の関数として計算される。基板に沈積されるのを期待されるエネルギーの比較的低い値に対応する波長が識別される。なお、その低い値は、より高い波長で基板に沈積されるのを期待されるエネルギーの値より実質的に小さい。基板に沈積されるのを期待されるエネルギーの比較的低い値に対応する波長でレーザ出力を生成するよう構成されたレーザ・システムが提供される。レーザ出力は、目標構造を気化させるため、基板に沈積されるのを期待されるエネルギーの比較的低い値に対応する波長で基板上の目標構造にレーザ出力を指向する。

30

【0007】

本発明のある応用は、シリコン基板に対して許容できない損傷を生成することなしに、金属リンクを切断するに適した波長の選択を包含し、そこにおいてその波長は、1.047 μm 及び1.064 μm の通常の波長より大きいのではなく、むしろそれらより小さい。この波長選択の方法は、より短い波長の使用がより小さいレーザ・スポットをもたらすことができ、また他のことは等しく、従ってレーザ・スポットにより所望のリンクのみをヒットする (打つ) 点で非常に容易であるので有利である。特に、他のことは等しく、レーザ・スポットのサイズが公式に従って波長に正比例し、即ち、スポット・サイズは f に比例し、ここで f はレーザ波長であり、 f は光学系のF-ナンバーである。

40

【0008】

更に、本発明のある応用は、基板が低い吸収度を有するが、しかし相互接続材料は1.047 μm 及び1.064 μm の通常の波長又は通常の波長より高い波長におけるより高い

50

吸収度を有する波長の選択を包含する。相互接続材料の反射率が低減するので、入射レーザー・エネルギーを低減することができる一方、相互接続材料はそれにも拘わらず、複数のレーザー・パルス（それはスループットに衝撃を与えることができる。）を用いずに又はレーザー・ビームに起因する実質的な付随的（collateral）損傷なしに、相互接続部を飛ばすに十分なエネルギーを吸収する。

【0009】

本発明は、近接して離間したパターンに配列された、例えば銅、金及び類似物のような高導電率リンク相互接続材料に関して高品質のレーザー・リンク切断を、単一のレーザー・パルスのみを用いて及びその構造に損傷を与えずに、実行することができる。本発明は更に、依然許容できるリンク切断を与えながら、 $1.047\mu\text{m}$ 、 $1.064\mu\text{m}$ 又はそれより高い波長で得ることができるであろうものより小さいレーザー・スポット・サイズを可能にする。

10

【0010】

[詳細な説明]

図1のブロック図に、半導体デバイスのリンクを除去するシステムが示されている。レーザー10は、 $1.047\mu\text{m}$ のような通常の波長で動作するよう構成されている。レーザー10は、例えば周波数二倍器又は光パラメトリック発振器（OPO）のような、 $0.55\mu\text{m}$ より小さい波長へ、即ち波長スペクトルの「緑」領域の中にシフトさせるよう構成された波長シフタ12を含むレーザー出力システムに対して一直線に並べられている。以下に一層詳細に説明されるように、従って、ビームは、レーザー出力システムの残りの部分を通され、その残りの部分は、制御された電気音響光減衰器13、ビームを拡大するテレスコープ14、及び2つのスキャナ・ガルバノメータ18及び20によりビームを集束レンズ16を介して走査する走査ヘッド15を含む。スポットは、コンピュータ33の制御下で、リンク24を除去するためウェーハ22上に集束させられる。

20

【0011】

レーザー10は、ガルバノメータ及び被加工物に関連して安定なプラットフォーム11上に取り付けられる。レーザー10は、コンピュータ33によりレーザーそれ自身の外側から制御され、そのビームを、正確なX及びYガルバノメータ18及び20を備えるスキャナ・ヘッドへ送る。ビームが1ミクロンの（ $3/10$ ）より小さい精度で位置決めされることがリンクの除去において非常に重要である。連続的に運動しているガルバノメータの位置と相関させるためのレーザー・パルスのタイミングは重要である。システム・コンピュータ33は、請求に応じてレーザー・システムを要求する。

30

【0012】

ステップ・アンド・リピート式テーブル34は、ウェーハを各半導体デバイスを処理するための位置へ移動させる。

一実施形態において、レーザー10は、約 15.24cm （約6インチ）の全長及び短いキャピティ長を有するバナジン酸ネオジム・レーザーである。

【0013】

この好適な実施形態の波長シフタ12は、キャピティの外にあり、そして約 10.16cm （約4インチ）の別の長さである。代替実施形態においては、レーザー10は、適切な波長を持つレーザー出力を生成し、それによりシフタが必要とされないように構成されることができる。

40

【0014】

レーザーは、コンピュータ33により高精度でパルス・レートの外部制御を可能にするに十分な長さ及び構成を有するQスイッチド・ダイオード・ポンプド・レーザーである。

【0015】

レーザーのキャピティは部分透過ミラー7を含み、該部分透過ミラー7は、バナジン酸ネオジムのレイジング・ロッド6がダイオードによりポンピングされる波長に最適化される。部分透過出力ミラー9もこの波長に最適化される。

【0016】

50

ポンピング・ダイオード4は、設計に応じて約1ワットと2ワットとの間の出力を生成する。それは、レーザ・ロッド6の背面上に集束する。前述のように、レーザ・ロッドは、そのポンピングされる端部上を、 $1.064\mu\text{m}$ 又は $1.047\mu\text{m}$ の標準レーザ波長に適したミラー7により被覆されている。ロッドの他方の端部は、二色性コーティングにより被覆されている。レーザ・キャビティ内に、音響 - 光変調器 (a c o u s t i c - o p t i c m o d u l a t o r) の形式の光学的Qスイッチ8がある。それは、レーザの動作周波数を確立するためのシャッタとして用いられている。Qスイッチの向こうに出力ミラー9がある。2つのミラー、即ち、レーザ・ロッドのポンピングされる端部上のミラー7と音響 - 光Qスイッチの向こうにあるミラー9とは、レーザ・キャビティを構成する。

【0017】

更に別の音響 - 光減衰器の形式のシステム光スイッチ13は、レーザ出力ビームの中で、レーザ・キャビティを超えた所に位置決めされる。コンピュータ33の制御下で、それは、ビームが望まれたとき以外にビームがガルバノメータに達するのを防止するよう、且つビームがガルバノメータにおいて望まれるとき、レーザ・ビームのパワーを所望のパワー・レベルまで制御可能に低減するよう作用する。気化手順中には、このパワー・レベルは、システム及びプロセスの動作パラメータに応じて、全レーザ出力の10%程度の小さいものであり得る。パワー・レベルは、レーザ出力ビームを気化手順の前に目標構造と整列させる整列手順中に全レーザ出力の約0.1%であり得る。

【0018】

動作において、X及びYガルバノメータ18及び20の位置は、コンピュータ33により且つガルバノメータ制御Gにより制御される。典型的には、ガルバノメータは、シリコン・ウェーハ上の半導体デバイスの上を一定速度で移動する。レーザは、ガルバノメータを制御するタイミング信号に基づいてタイミング信号により制御される。レーザは、一定反復速度で動作し、そしてシステム光スイッチ13によりガルバノメータに対して同期化される。

【0019】

図1のシステムブロック図において、レーザ・ビームは、ウェーハ上に集束されているよう示されている。図2の拡大図において、レーザ・ビームが半導体デバイスのリンク素子25上に集束されていることが分かる。

【0020】

金属リンクは、二酸化ケイ素絶縁層32によりシリコン基板上に支持され、該二酸化ケイ素絶縁層32は、例えば0.3 - 0.5ミクロンの厚さであり得る。リンクの上に二酸化ケイ素の別の層がある(図示せず)。リンク飛ばし技術 (l i n k b l o w i n g t e c h n i q u e) において、レーザ・ビームは、リンク上に当たり、そしてそれを融点まで加熱する。加熱中に、酸化物の重なり層の閉じこめ効果により金属が気化するのを防止する。短いパルスの持続時間中に、レーザ・ビームは、絶縁材料が破裂するほど金属が膨張するまで金属を累進的に加熱する。この時点で、熔融した金属は、それが直ちに気化し且つ破裂穴を通してきれいに飛び出してしまうほど高圧下にある。

【0021】

波長シフト12により生成された波長は、等しい立場で、リンクを切断するに必要であるリンク構造におけるエネルギー沈積 (d e p o s i t i o n) に対して、望ましくない基板におけるエネルギー沈積をトレード・オフするように、処理されるべき相互接続又はリンクと基板の両方の値を考慮することにより到達される。従って、波長を選択するための判定基準は、基板に非常に透過的であることを要求せず、それは、基板が非常に透過的である波長範囲 (r e g i m e) がリンク構造におけるエネルギー沈積のための最適より非常に小さい場合特に重要である。

【0022】

適切な波長の選択のための判定基準は次の通りである。

1) 単位エネルギーをリンク構造に沈積するに必要とされる相対的入射レーザ・ビーム・エネルギーを計算する。この相対的入射レーザ・ビーム・エネルギーは、リンク構造の吸収度の

10

20

30

40

50

逆数に比例する。例えば、リンク構造が0.333の吸収度を持つ場合、それは、その構造が1の吸収度を持つ場合にリンク構造に沈積するであろうほどの入射レーザー・ビーム・エネルギーの3倍を必要とするであろう。図3は、銅、金、アルミニウム及びシリコンの吸収度を波長の関数として図示する（銅、金及びアルミニウムはあり得るリンク構造材料であり、そしてシリコンは基板材料である。）。

【0023】

2) ステップ(1)において計算された入射レーザー・ビーム・エネルギーを用いて、基板に沈積されたエネルギーを計算する。十分に整合されたレーザー・スポットに対して、このエネルギーは、ステップ(1)において計算された入射エネルギーからリンク構造により吸収されるエネルギーを引いたものに基板の吸収度を乗算したものに比例するであろう。換言すると、基板に吸収されたエネルギーは、 $(1/L - 1) \times S$ （本明細書において、「基板吸収関数」）に比例し、ここで、Lはリンクにおける吸収度であり、Sは基板における吸収度である。

10

【0024】

3) ステップ(2)において定義された基板吸収関数の低い値をレーザー波長の関数として探し求める。

図4は、シリコン基板上の銅、金及びアルミニウムのリンクに対する基板吸収関数を0.3から0.4 μm の範囲における波長の関数として図示する。基板吸収関数の値は、特異性のため0.5として任意に選定された比例定数（上記ステップ(2)を参照）を用いて（この定数は図4の垂直スケールを単に変え、それから引き出されるいずれの結論も変えない。）、図3に示されている吸収曲線から導出されることができる。

20

【0025】

図4から、金及び銅の構造に対して（しかしアルミニウムの構造に対してではない）、基板吸収関数が1.2 μm より大きい波長領域における基板吸収関数と匹敵するおおよそ0.55 μm より小さい波長領域が存在することが分かる。

【0026】

この関数は、図5及び図6に与えられている関数とは全く異なることに注目されたい。なお、図5及び図6は、単純な吸収度対比を表す2つのあり得る関数を示す。詳細には、図5は、パーセントとして表された関数L - Sを示し、そして図6は、関数(L - S) / (L + S)を示す。いずれのケースにおいても、0.55 μm より小さい領域は、金又は銅のリンク構造に対してさえ、図5及び図6に従って望ましいものはいない。それは、これらの図面に示される関数がこの領域においてゼロより小さいからである。この負の値は、基板がこの波長範囲においてリンク構造より吸収が高く、そこで、これらのモデルに従って、この波長範囲は選択されるべきでないことを表す。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、銅又は金のような材料から製作された半導体デバイスのリンクを除去する本発明に従ったレーザー・システムのブロック図である。

【図2】 図2は、半導体デバイスの基板上的リンクの斜視図である。

【図3】 図3は、銅、金、アルミニウム及びシリコンの吸収度を波長の関数としてプロットした図である。

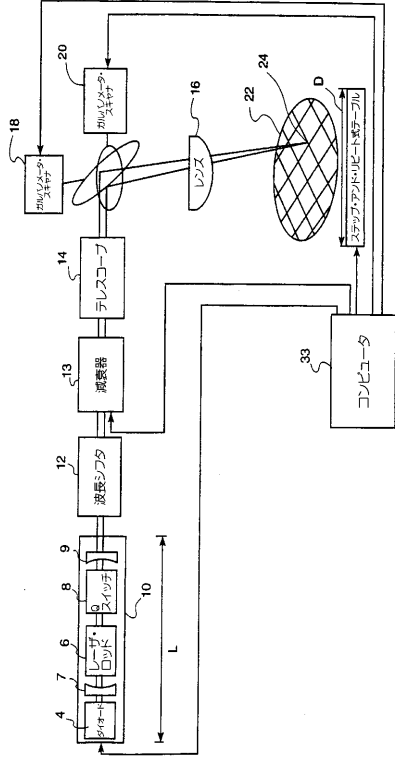
40

【図4】 図4は、シリコン基板上的銅、金及びアルミニウムのリンクに対する本発明に従った基板吸収関数を波長の関数としてプロットした図である。

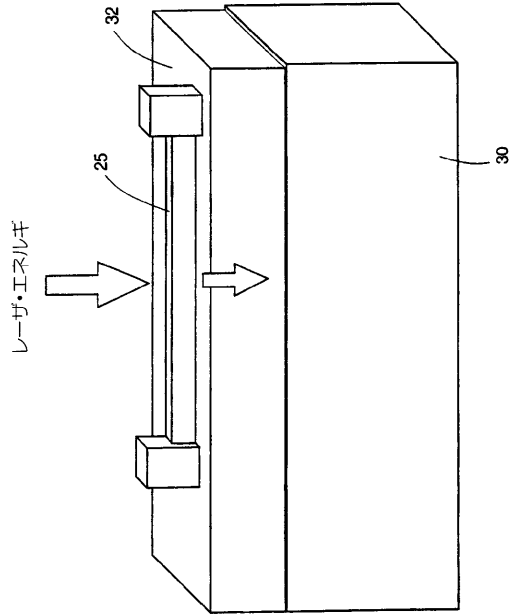
【図5】 図5は、シリコン基板上的銅、金及びアルミニウムのリンクに対する関数L - Sのプロット図であり、Lはリンクにおける吸収度であり、Sは基板における吸収度である。

【図6】 図6は、シリコン基板上的銅、金及びアルミニウムのリンクに対する関数(L - S) / (L + S)のプロット図であり、Lはリンクにおける吸収度であり、Sは基板における吸収度である。

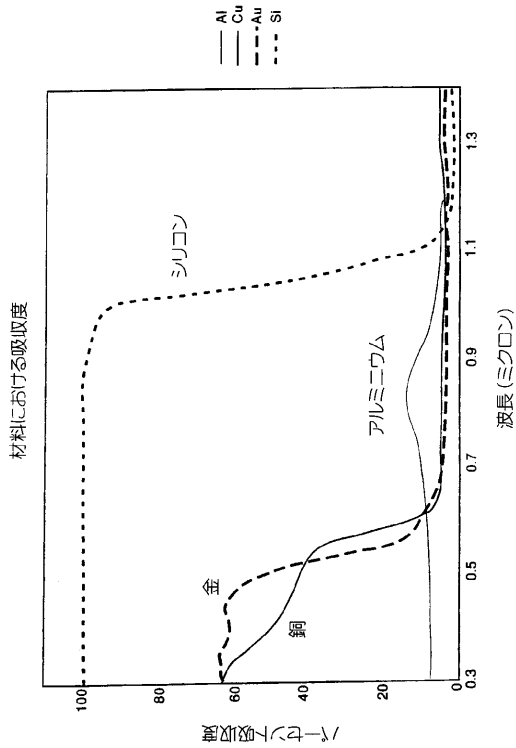
【図1】



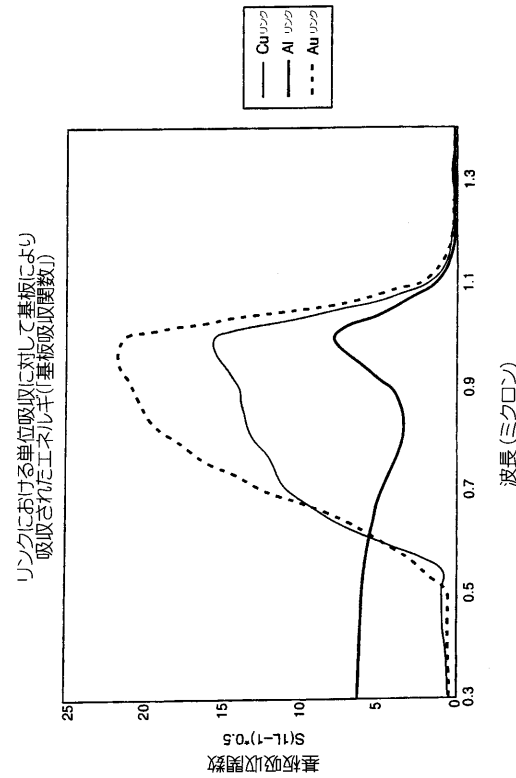
【図2】



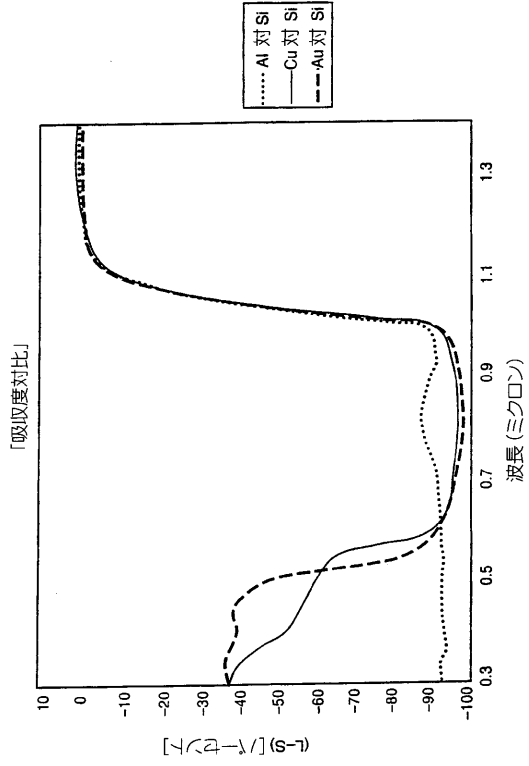
【図3】



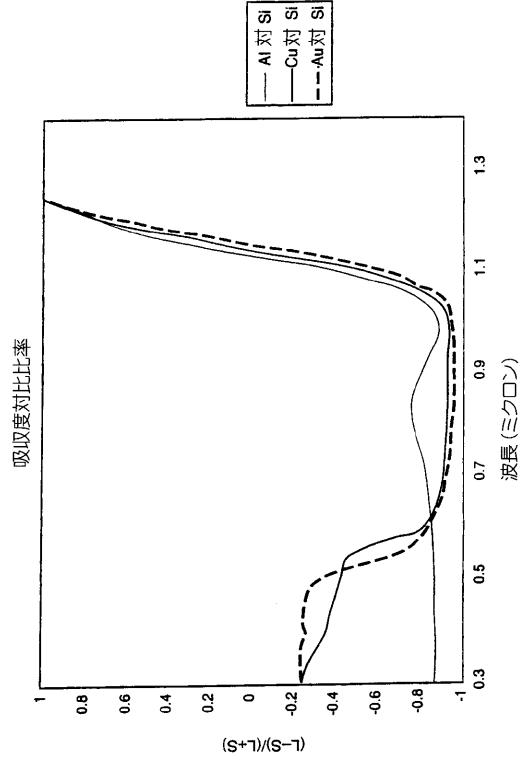
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 1 L 21/304 (2006.01)

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100091063

弁理士 田中 英夫

(74)代理人 100080137

弁理士 千葉 昭男

(74)代理人 100114487

弁理士 山崎 幸作

(72)発明者 ローアー, ウィリアム

アメリカ合衆国マサチューセッツ州01886, ウェストフォード, テキサス・ロード 38

(72)発明者 トレパニアー, ピエール

アメリカ合衆国マサチューセッツ州02155, メドフォード, ブルックス・ストリート 150

(72)発明者 スマート, ドナルド・ビクター

アメリカ合衆国マサチューセッツ州02110, ボストン, ルイス・ワーフ 524

(72)発明者 コーディングリー, ジェームズ

アメリカ合衆国マサチューセッツ州01460, リトルトン, シュガーローフ・レーン 5

(72)発明者 プロトキン, マイケル

アメリカ合衆国マサチューセッツ州02465-1420, ニュートン, オーバーンデール・アベニュー 104

審査官 早房 長隆

(56)参考文献 特表平07-506221(JP, A)

国際公開第98/031049(WO, A1)

特開平07-234428(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00

H01L 21/304

H01L 21/3205

H01L 21/82