

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5089077号
(P5089077)

(45) 発行日 平成24年12月5日(2012.12.5)

(24) 登録日 平成24年9月21日(2012.9.21)

(51) Int.Cl.

H01L 21/20 (2006.01)
H01L 21/268 (2006.01)

F 1

H01L 21/20
H01L 21/268

J

請求項の数 10 (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2006-124772 (P2006-124772)
 (22) 出願日 平成18年4月28日 (2006.4.28)
 (65) 公開番号 特開2006-332637 (P2006-332637A)
 (43) 公開日 平成18年12月7日 (2006.12.7)
 審査請求日 平成21年4月22日 (2009.4.22)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-133731 (P2005-133731)
 (32) 優先日 平成17年4月28日 (2005.4.28)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 田中 幸一郎
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 大石 洋正
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内

審査官 杉 哲次

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体装置の作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パルス幅 100 fs 以上 1 ns 以下、周波数 10 MHz 以上のレーザビームを複数に分割し、

複数の分割ビームから選択される任意の 2 つの分割ビームにおいて、一方の分割ビームに対して、他方の分割ビームに、前記パルス幅に相当する長さ以上、且つコヒーレント長未満の光路差を設け、

光路差が設けられた前記複数の分割ビームを半導体膜に照射することにより、前記半導体膜を結晶化することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 2】

パルス幅 100 fs 以上 1 ns 以下、周波数 10 MHz 以上のレーザビームを複数に分割し、

複数の分割ビームから選択される任意の 2 つの分割ビームにおいて、一方の分割ビームに対して、他方の分割ビームに、前記パルス幅に相当する長さ以上、且つパルス発振間隔に相当する長さ未満であって、前記パルス幅に相当する長さ以上、且つコヒーレント長未満の光路差を設け、

光路差が設けられた前記複数の分割ビームを半導体膜に照射することにより、前記半導体膜を結晶化することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 3】

パルス幅 100 fs 以上 1 ns 以下、周波数 10 MHz 以上のレーザビームを第 1 のレ

10

20

レーザビームと第2のレーザビームに分割し、

前記第2のレーザビームを前記第1のレーザビームに対して遅延させ、

前記第1のレーザビームと、遅延させた前記第2のレーザビームとを半導体膜に照射することにより、前記半導体膜を結晶化し、

前記第2のレーザビームは、前記パルス幅以上、且つコヒーレント長に相当する時間未満の範囲で、前記第1のレーザビームに対して遅延していることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項4】

パルス幅 100 fs 以上 1 ns 以下、周波数 10 MHz 以上のレーザビームを第1のレーザビームと第2のレーザビームに分割し、

10

前記第2のレーザビームを前記第1のレーザビームに対して遅延させ、

前記第1のレーザビームと、遅延させた前記第2のレーザビームとを半導体膜に照射することにより、前記半導体膜を結晶化し、

前記第2のレーザビームは、前記パルス幅以上、且つパルス発振間隔未満であって、前記パルス幅以上、且つコヒーレント長に相当する時間未満の範囲で、前記第1のレーザビームに対して遅延していることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項5】

請求項1または請求項2において、

前記複数の分割ビームを照射する前記半導体膜の各領域は、互いに共通部分を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

20

【請求項6】

請求項3または請求項4において、

前記第1のレーザビームを照射する前記半導体膜の領域と、前記第2のレーザビームを照射する前記半導体膜の領域は、互いに共通部分を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項7】

請求項1または請求項2において、

前記複数の分割ビームは照射面において線状ビームを形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項8】

30

請求項3または請求項4において、

前記第1のレーザビーム及び前記第2のレーザビームは照射面において線状ビームを形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項9】

請求項1、請求項2、請求項5または請求項7において、

前記複数の分割ビームは、同じタイミングで同一領域に照射した場合、干渉を生じさせるものであることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項10】

請求項3、請求項4、請求項6または請求項8において、

前記第1のレーザビームと前記第2のレーザビームとは、同じタイミングで同一領域に照射した場合、干渉を生じせるものであることを特徴とする半導体装置の作製方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はレーザ照射により半導体装置を作製する方法及びレーザ照射装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体装置の作製においてレーザ照射がよく用いられている。その理由として一つは、輻射加熱又は伝導加熱を利用するアニール法と比較して処理時間を大幅に短縮できること

50

があげられる。またもう一つの理由として、ガラス基板のような熱変形しやすい基板に対し、熱的損傷を与えないことが挙げられる。

【0003】

一方で、レーザビームのビーム断面にはエネルギー強度分布（以下、強度分布とも言う）があり、被照射体に一様な強度でレーザビームを照射できなかった。例えばレーザアニールによって被照射体を結晶化する場合は一様な結晶性を有する半導体膜が得られなかつた。

【0004】

これに対し、レーザビームを複数に分割し、分割したビームを合成して、強度分布を一様にする技術がある。

10

【0005】

しかしこの方法ではビーム断面における強度分布が一様になる一方で、分割されたビーム（以下、分割ビームとも言う）間の干渉が生じていた。これは分割ビームを合成するときに、ビーム同士が互いに干渉を起こすためである。したがって、当初のビーム断面の強度分布はなくなるものの、干渉により新たに強度分布が生じてしまうため、照射面に一様な強度でレーザビームを照射することはできなかつた。

【0006】

この問題に対応し、特許文献1は、遅延板を使って分割されたビーム同士に時間的可干渉距離（コヒーレント長）以上の光路差を設け、ビームの分割に伴う干渉を抑えている。

【特許文献1】特開2003-287703号公報

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1で設ける光路差はコヒーレント長以上であるため、長い光路差を設ける必要があった。例えば固体レーザから発振されるレーザビームの場合は、コヒーレント長が數m～数kmにもなり、このような光路差を設ける光学系の作製は非現実的であった。

【0008】

また、分割ビーム同士に光路差を設けると、照射面に到達するまでの時間が分割ビーム毎に異なり、光路差が大きいほどビーム毎の到達時間の差は大きくなってしまう。したがって、分割ビームに設けられた光路差が長すぎると、半導体膜を照射する際、遅延されていない方のビーム照射によって溶融した半導体膜部分が固化した後に、遅延された方のビームが照射されることがあった。その場合、遅延されていない分割ビーム照射による結晶成長が終了した状態で、次の分割ビームが照射されるため、連続的に結晶成長した結晶性半導体膜が得られず大きい結晶粒を形成できなかつた。また、このような照射方法で半導体膜の結晶化を行う場合、熱的に不連続な現象となるため、エネルギー分布の一様なレーザビームを照射する工程とは全く異なるものとなつた。

30

【0009】

以上の課題を鑑み、本発明はビーム断面の強度を均一にしつつビーム干渉を防止する小型のレーザビーム照射装置を提供することを目的とする。また、本発明は、被照射体の結晶化において、連続的な結晶成長ができる半導体装置の作製方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の特徴の一つは、レーザビームを複数に分割し、複数の分割ビームから選択される任意の2つの分割ビームにおいて、一方の分割ビームに対して、他方の分割ビームに光路差を設け、光路差が設けられた分割ビームを半導体膜の共通の部分に対してそれぞれ異なる期間に照射して結晶化する半導体装置の作製方法であり、レーザビームはパルス幅100fs以上1ns以下、周波数10MHz以上のパルスレーザビームとし、光路差はレーザビームのパルス幅に相当する長さ以上、コヒーレント長またはパルス発振間隔に相当する長さ未満とすることである。

50

【0011】

また、本発明の特徴の一つは、レーザビームを少なくとも第1のビームと第2のビームに分割し、第1のビームと第2のビームを半導体膜の共通部分に対してそれぞれ異なる期間に照射して結晶化する半導体装置の作製方法であり、第1のビームの第1の光路と、第2のビームの第2の光路との間に光路差を設け、光路差をレーザビームのパルス幅に相当する長さ以上、コヒーレント長またはパルス発振間隔に相当する長さ未満とすることである。レーザビームはパルス幅100fs以上1ns以下、周波数10MHz以上のパルスレーザである。

【0012】

本発明の特徴の一つは、レーザビームを複数に分割し、複数の分割ビームから選択される任意の2つの分割ビームにおいて、一方の分割ビームに、他方の分割ビームに対して時間差を設け、半導体膜への到達時間の時間差が設けられた分割ビームを半導体膜の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射して結晶化する半導体装置の作製方法であり、レーザビームはパルス幅100fs以上1ns以下、周波数10MHz以上のパルスレーザとし、時間差はレーザビームのパルス幅以上、コヒーレント長に相当する時間またはパルス発振間隔未満とすることである。

10

【0013】

本発明の特徴の一つは、パルス幅100fs以上1ns以下、周波数10MHz以上のレーザビームを第1のレーザビームと第2のレーザビームに分割し、第2のレーザビームを第1のレーザビームに対して遅延させ、第1のレーザビームと、遅延させた第2のレーザビームを半導体膜の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射することにより半導体膜を結晶化し、第1のレーザビームの照射により半導体膜が溶融している間に、第2のレーザビームが半導体膜に照射されることである。

20

【0014】

本発明の特徴の一つは、レーザ発振源から発振された、パルス幅100fs以上1ns以下、周波数10MHz以上のレーザビームを複数に分割する手段と、複数に分割されたレーザビームから選択される任意の2つの分割ビームにおいて、一方の分割ビームに、他方の分割ビームに対して光路差を設ける手段と、分割ビームを被照射体の共通部分に照射する手段とを有するレーザ照射装置であり、光路差を設ける手段は、複数に分割されたレーザビーム同士に、パルス幅に相当する長さ以上、コヒーレント長またはパルス発振間隔に相当する長さ未満の光路差を設けることである。

30

【0015】

なお、本明細書においてメガヘルツレーザビームとは、周波数10MHz以上、パルス幅100fs以上1ns以下の極短パルスを有するレーザビームを言う。なお、本発明において、共通部分にレーザビームを照射するとは、レーザビームの照射領域同士が必ずしも完全に一致していることを意味するとは限らず、レーザビームの照射領域同士が共通部分を有していれば良い。

【0016】

一般的に半導体膜の結晶化に用いられるレーザビームとして、パルス幅25~200nsであるエキシマレーザが用いられる。このようなエキシマレーザはパルス幅がある程度長いため、結晶化のような原子の再配列に時間を要するプロセスに向いており、直径100~300nm程度の結晶粒を形成することができる。一方で、パルス幅1ns以下の極短パルスレーザは、パルス幅が短すぎるため充分な大きさになるまで結晶粒が成長せず、結晶化には不向きであった。

40

【0017】

しかしながら、本発明人は実験により極短パルスレーザであっても、周波数を高くすることで半導体膜の加熱時間を長くし、連続的に被照射体にエネルギーを与え、半導体膜の結晶粒を充分大きくすることが可能であることを見出した。それがパルス幅100fs以上1ns以下、周波数10MHz以上であるメガヘルツレーザビームである。本発明は、100fs以上1ns以下といった非常に短いパルス幅であっても、周波数を10MHz

50

以上とすることで、結晶化に必要な熱エネルギーを半導体膜に連続的に与え、半導体膜の結晶化を行うものである。

【0018】

さらに、パルス幅以上の光路差を設けることで光干渉を抑えることを見出し、メガヘルツレーザビームにおいて光干渉を抑える際に非常に短い長さの光路差により光干渉を抑えるものである。

【0019】

一方で、極短パルスレーザは、その高い尖塔出力を利用して、形状加工に用いられている。しかし形状加工に用いるレーザビームは被照射体を溶融するのではなく、被照射体の一部を瞬時に昇華させて穴を形成したり溝を形成したりするものである。そのため、半導体膜の結晶化に用いるレーザビームとは異質であり、結晶化に用いるレーザビームよりも非常に高いエネルギー密度のレーザビームを用いている。10

【0020】

本発明は分割ビーム間に光路差または時間差を設けることが特徴の一つである。光路差を設けるのも、時間差を設けるのも、分割ビームが照射面に到達するタイミングをずらすという意味では同意味である。ただし本明細書においては、長さの単位で示したものをお路差、時間の単位で示したものをお時間差と使う。

【発明の効果】

【0021】

本発明は、メガヘルツレーザビームを分割して、分割したビームにメガヘルツレーザビームのパルス幅に相当する長さ以上コヒーレント長未満の光路差をつけ、分割ビーム同士の干渉を防止する。もしくは分割ビームにメガヘルツレーザビームのパルス幅以上の時間差を設け分割ビーム同士の干渉を防止する。これにより、わずかな光路差（時間差）で光干渉なく一様な強度分布のビーム照射を可能にする。よって、光路差をつけるための光学系も小さくてすみ、レーザ照射装置が小型化になるというメリットがある。20

【0022】

周波数を10MHz以上とすることで、連続的に半導体膜に熱を与えることができるため、連続的な結晶成長が可能となる。また、パルス幅を1ns以下とすることで、分割されたビーム間の光路差を数10cm以下とすることができますため、現実的に設計可能な光学系を作製することができる。さらに、パルス幅を100fs以上とすることで、レーザ装置の構造を簡易にできるため工業的に有利である。30

【0023】

周波数10MHz以上、パルス幅100fs以上1ns以下のメガヘルツレーザビームにおいては、パルス幅に相当する長さとコヒーレント長を比較すると、絶対的にパルス幅に相当する長さの方が短いため、本発明は非常に短い光路差で干渉を抑えることができ有効である。

【0024】

また、本発明は分割レーザ同士の光路差が短いため、干渉を抑えつつ、分割ビームを連続的に半導体膜に照射することが可能であり、半導体膜の結晶を連続的に成長させ、大粒径の結晶を形成することができる。つまり、メガヘルツレーザビームを第1のビームと第2のビームに分割し、第1のビームによって溶融された半導体膜が固化する前に第2のビームを照射することが可能となる。40

【0025】

また、本発明はパルス幅100fs以上1ns以下の極短パルスのレーザビームであっても、周波数を10MHz以上とすることで、半導体膜を結晶化することを可能にする。

【0026】

よって、本発明は被照射体に均一な強度分布で光干渉なくレーザビームを照射することができる。さらに、被照射体が半導体膜のときは、分割ビームの間で連続的に半導体膜を結晶成長させることができ、均一で且つ大粒径の結晶を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下、本発明の実施の形態について図面を参考しながら説明する。但し、本発明は多くの異なる態様で実施することが可能であり、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従つて、本発明は本実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

【0028】

また、以下に示す実施形態1及び2は実施可能な範囲で自由に組み合わせることが可能である。

【0029】

(実施の形態1)

10

図1(A)～(H)にメガヘルツレーザビームを分割して被照射体の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射するときの各ビーム断面形状と強度分布を示す。図1(A)はメガヘルツレーザビーム分割前、図1(B)及び図1(C)はメガヘルツレーザビーム分割時、図1(D)はメガヘルツレーザビームを被照射体の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射する時のそれぞれのビーム断面である。図1(E)は分割前のビーム断面における強度分布、図1(F)、(G)は分割時のビーム断面における強度分布、図1(H)は分割ビーム12、13の照射により合成された熱エネルギー分布を表す。ここではメガヘルツレーザビームを2つに分割する例を示すが、2つ以上であればいくつに分割しても良い。分割数が多いほど分割ビームを照射した際の被照射体におけるビームの熱エネルギー強度は均一になる。なお、図1(A)～(D)に示すビーム断面形状、図1(E)、(F)に示すビーム強度分布、及び図1(G)に示す熱エネルギー分布は一例にすぎず、これに限定されない。

20

【0030】

分割前のビーム11の断面は円形であり、その強度分布はガウス分布を有する(図1(A)、(E))。ビーム11を分割して分割ビーム12、13が形成され、分割ビーム断面は半円状となり、強度分布もガウス分布を半分で割ったような分布となる(図1(B)、(C)、(F)、(G))。そして互いの強度の和が一定になるように分割ビーム12、13を被照射体の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射し、均一な熱エネルギー分布を被照射体の共通部分に与える(図1(D)、(H))。ビームを分割して合成するとビーム断面における強度分布は緩和される。しかし、分割ビーム12、13を同じタイミングで被照射体の共通部分に照射すると新たに干渉が生じるため、図2に示すように、分割ビームがそれぞれ被照射体に到達する時間に時間差を設けることが必要になってくる。

30

【0031】

図2(A)にメガヘルツレーザビームの一例として、12.5 nsのパルス発振間隔を持つメガヘルツレーザビームを示す。図1(A)～(H)で説明したようにビーム11の空間プロファイルを2分割し、分割ビーム12、13を形成する(図2(B))。そして図2(C)に示すように、分割ビーム12、13が被照射体に照射される時の干渉を抑えるために、分割ビーム13を分割ビーム12に対しある光路差(時間差)の分だけ遅延させる。このときの時間差はビーム11のパルス幅以上パルス発振間隔未満とする。時間差をパルス幅未満とすると、分割ビーム12と分割ビーム13のパルスが重なってしまうため、光干渉が生じてしまう。また、時間差をビーム11のパルス発振間隔とすると、レーザ源から周期的に発振されるパルスと遅延させた分割ビーム13のパルスが重なってしまい干渉が起きる。また、時間差をビーム11のパルス発振間隔以上とすると、3 m以上の光路差を設けなければならず、現実的でない。そのため時間差はパルス発振間隔未満とする必要がある。したがって、上記時間差を分割ビームに設定することで光干渉がなく、均一なレーザビームを照射面に照射できる。また、ビーム11を3つ以上に分割した場合は、分割ビームから任意に選択されるいすれの2つの分割ビームにおいても、上記分割ビーム12、13の関係となっていれば良い。即ち、複数の分割ビームから任意に選択される2つの分割ビームにおいて、一方の分割ビームに対し他方の分割ビームを、パルス幅以上パルス発振間隔未満の時間だけ遅延させれば良い。

40

50

【0032】

厳密には、設ける時間差の上限はパルス発振間隔からパルス幅を差し引いた時間となる。つまり、時間差 t_d 、パルス幅 a 、パルス発振間隔 $1/N$ (N はレーザビームの周波数) とするとき、 $a < t_d < 1/N - a$ となる。

【0033】

本明細書においてパルス発振間隔とは、メガヘルツレーザビームの周波数を N としたときに、 $1/N$ をパルス発振間隔とする。

【0034】

分割ビーム 12 が被照射体に照射されると光エネルギーは熱エネルギーに変換される。このときの熱エネルギー分布は分割ビーム 12 の強度分布を反映したものとなる。しかし、分割ビーム間の光路差が長すぎる場合、分割ビーム 13 の照射前に、分割ビーム 12 により被照射体に与えられた熱エネルギーの拡散が始まり熱エネルギー分布が変化してしまう。そのため分割ビーム 13 の照射による熱エネルギー分布を、分割ビーム 12 の照射による熱エネルギー分布に合成しても均一な熱エネルギー分布が得られなくなる。つまり、被照射体を均一にレーザ照射することが不可能となる。したがって、分割ビーム 13 は分割ビーム 12 により発生した熱エネルギーの拡散が起こるまでの間に照射するのが好ましい。

【0035】

本発明は光路差をメガヘルツレーザビームのパルス幅に相当する長さ以上パルス発振間に相当する長さ未満とするため、光路差を非常に短くすることができ、分割ビーム 12 の熱エネルギーが拡散する前に分割ビーム 13 を照射することができる。したがって、より確実に均一なエネルギーを照射面に与えることができる。

【0036】

また、従来のコヒーレント長以上の光路差を設けて光干渉を抑える場合は、設ける光路差が長いため、分割ビーム 13 が照射面に到達するまでに分割ビーム 13 のエネルギーが減退してしまい、効率よくレーザを照射できなかった。加えて光路差が長いと、分割ビーム 12 の照射により被照射体に与えたエネルギーが拡散した後に、分割ビーム 13 が照射されてしまい、分割ビーム間で連続的なエネルギーを被照射体に付与することができなかつた。例えばレーザ照射により半導体を結晶化する場合、分割ビーム 12 の照射により溶融した半導体が固化した後に分割ビーム 13 が照射され、分割ビーム間で連続的に結晶成長させることができず、大粒径の結晶を得ることができなかつた。

【0037】

これに対し本発明は、分割ビームに光路差を設けても、その光路差が MHz レーザのパルス幅に相当する長さ以上と非常に短いため、エネルギーの減退が少ない状態で分割ビームを連続的に照射することができる。また、分割ビームにより被照射面に連続的にエネルギーを与えることができ、光干渉を抑えつつ照射面に高いエネルギーを効率よく与えることができる。よって、半導体の結晶化に本発明を適用した場合は連続的な結晶成長を実現し、大粒径の結晶を得ることができる。

【0038】

なお、本発明におけるパルス幅に相当する長さとはパルス幅に光速を乗じた値であり、パルス発振間に相当する長さとはパルス発振間に光速を乗じた値である。

【0039】

図 18 にシリコンの顕微鏡写真を示す。周波数 $80MHz$ 、パルス幅 $15ps$ の YVO_4 レーザを用いて、アモルファスシリコンを結晶化したときのシリコンを写している。図 18 (A)、(B) ともに YVO_4 レーザビームを分割して照射しており、図 18 (A) は分割ビーム同士に時間差を設けない条件で結晶化したものであり、図 18 (B) は分割ビーム同士に約 $25ps$ の時間差を設けて結晶化したものである。

【0040】

図 18 (A) に示した写真は周期的な干渉縞がはっきり確認できる。一方、図 18 (B) は干渉縞がなく一様な結晶状態が確認できる。

【 0 0 4 1 】

以上より、本発明は非常に短い光路差を設定することで分割ビーム同士の光干渉をなくすことができ、均一な熱エネルギー分布を与えるメガヘルツレーザビームにより半導体膜の結晶化を可能にするものである。

【 0 0 4 2 】**(実施の形態 2)**

本形態では、ガラス基板または石英基板上の被照射体にレーザビームを照射する形態について説明する。ガラス基板や石英基板上に被照射体がある場合は、被照射体で吸収しきれなかったレーザビームが基板裏面で反射され、再度被照射体に照射されることがある。その場合には、光干渉防止のための光路差を決定する際に、基板裏面からの反射光の挙動も考慮する必要がある。本形態では、基板裏面における反射光も考慮した光路差の設定について図3、図4を用いて説明する。なお、時間差 t_d はレーザビームの発振間隔 $1/N$ 未満とする。理由は時間差をレーザビームのパルス発振間隔以上とすると、現状の技術では3m以上の光路差を設けなければならず、現実的でないからである。もう一つの理由は、時間差をレーザビームのパルス発振間隔とすると、レーザ源から周期的に発振されるパルスと遅延させた分割ビームのパルスが重なってしまい干渉が起きるからである。10

【 0 0 4 3 】

図3、図4において、メガヘルツレーザビームを二つに分割して形成した分割ビームの一つを第1のレーザビーム401、もう一つの分割ビームを第2のレーザビーム402とする。もしくは、メガヘルツレーザビームを複数に分割した場合は、複数ある分割ビームのうち、任意の二つのレーザビームに着目する。そして、その二つのレーザビームのうち、先に照射される分割ビームを第1のレーザビーム401、後で照射される分割ビームを第2のレーザビーム402とする。20

【 0 0 4 4 】

第1のレーザビーム401、第2のレーザビーム402を照射した際に、基板404上の被照射体403において第1と第2のレーザビーム間の干渉を防止できる条件は、第1のレーザビーム401が基板404内を伝播する時間 $t_1 \sim t_3$ に応じて以下の3つに分類できる。なお、本形態では被照射体403としてアモルファスシリコン膜を用い、基板404としてガラス基板を用いる。30

【 0 0 4 5 】

第1のレーザビーム401が被照射体403を通過し、基板404の裏面で反射し、再び被照射体403を通過した後に、遅延した第2のレーザビーム402が被照射体403に照射される場合について図3を用いて説明する。図3(A)は第1のレーザビーム401が被照射体403に照射された瞬間を表し、第1のレーザビーム401のパルス先端405が被照射体403に到達している。このとき時間 $t = 0$ とする。40

【 0 0 4 6 】

図3(A)の状態から t_1 秒後経過したときの状態を図3(B)に示す。図3(B)は第1のレーザビーム401のパルス先端405が被照射体403を通過し、基板裏面で反射されてから再び被照射体403に照射された瞬間の図である。ここで、第1のレーザビームのパルス先端405が基板404中を伝播する時間 t_1 は基板の厚さをD、基板の屈折率をn、光速をcとすると、 $t_1 = 2nD/c$ で表される。40

【 0 0 4 7 】

次に、図3(B)の状態から t_2 秒後経過したときの状態を図3(C)に示す。図3(C)は、第1のレーザビーム401のパルス終端406が被照射体403を通過した状態を表しており、 t_2 は第1のレーザビーム401のパルス幅に相当する。図3(C)において被照射体403は第1のレーザビーム401の位相情報を保持した状態である。

【 0 0 4 8 】

次に、図3(D)は図3(C)の状態から、被照射体403の位相緩和時間 t_3 が経過した時の状態を示すものである。図3(D)では被照射体403が第1のレーザビーム401の位相情報を保持していないため、ここに、第2のレーザビーム402を照射しても50

、第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402の間での干渉は起こらないことになる。このとき、第1のレーザビーム401が被照射体403に照射されてから(図3(A)の状態)、第2のレーザビーム402が被照射体403に照射されるまで(図3(D)の状態)の時間は $t_1 + t_2 + t_3$ となる。したがって、第1のレーザビームと第2のレーザビームとの間で光干渉を抑えるには、第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402との間の時間差 t_d を上記の時間 $t_1 + t_2 + t_3$ よりも大きくすれば良い。即ち以下の式1が成り立つ。

$$t_1 + t_2 + t_3 < t_d \quad (\text{式1})$$

【0049】

ただし、レーザ発振器からは $1/N$ 秒(N はレーザビームの周波数)の発振間隔でレーザパルスが射出しているため、第2のレーザビーム402は第1のレーザビーム401との差だけでなく、第1のレーザビーム401から $1/N$ 秒後に射出された第3のレーザビームとの差も考慮する必要がある。そのためには、被照射体403において、第2のレーザビーム402による位相情報が消失した後に、第1のレーザビーム401から $1/N$ 秒後に射出された第3のレーザビームが被照射体403に到達するようにすると良い。つまり、第2のレーザビーム402が基板裏面で反射され再び被照射体403に照射され、被照射体403を通過した後に、第3のレーザビームが照射されれば良い。図3において、第1のレーザビーム401が被照射体403に照射されてから、第2のレーザビーム402が基板裏面で反射後に被照射体403を再び通過するまでの時間は $t_d + t_1 + t_2 + t_3$ で表される。ここで、レーザパルスの発振間隔 $1/N$ が上記の時間 $t_d + t_1 + t_2 + t_3$ よりも大きいならば、第2のレーザビーム402と第3のレーザビームは被照射体403において時間的に重なり合うことがなく、レーザビーム間の干渉が防止できることになる。上記の条件により、時間差 t_d は下記の式2で表すことができる。

$$t_d < 1/N - t_1 - t_2 - t_3 \quad (\text{式2})$$

【0050】

上記の式1、式2をまとめると、第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402との間での干渉を防止することができる時間差 t_d の条件は、以下の式3で表すことができる。

$$t_1 + t_2 + t_3 < t_d < 1/N - t_1 - t_2 - t_3 \quad (\text{式3})$$

【0051】

なお、位相緩和時間とはレーザビームが被照射体に吸収されてから、レーザビームの位相情報量が $1/e$ (e は自然対数)となるまでの時間を指す。したがって、上記位相緩和時間 t_3 は第1のレーザビーム401が被照射体403に吸収されてから位相情報が $1/e$ となるまでの時間となる。しかし、この時間はパルス幅と比較して非常に短く $t_3 = 0$ と見なして良い。よって式3は式4で表すことができる。

$$t_1 + t_2 < t_d < 1/N - t_1 - t_2 \quad (\text{式4})$$

【0052】

つまり、上記式3または式4を満たすような時間差 t_d を分割ビームの第1のレーザビーム401と第2のレーザビームとの間に設けると、基板裏面で反射した第1のレーザビーム401とも干渉をおこさずに被照射体に第2のレーザビーム402を照射することができる。 t_1 は $2nD/c$ 、 t_2 はパルス幅、 $1/N$ はパルス発振間隔であるため、これらの値より t_d を算出し時間差(光路差)を設定する。メガヘルツレーザビームを3つ以上に分割した場合は、分割ビームのうち、任意の2つの分割ビームに式3または式4を満たす時間差 t_d を設ければ、干渉を防止できる。

【0053】

以上より、基板裏面における反射光を考慮する場合は、設ける時間差(光路差)の下限として、パルス幅 t_2 に第1のレーザビームが基板を伝播する時間 t_1 を足した値を用いれば良い。また、設ける時間差(光路差)の上限としても、発振間隔からパルス幅 t_2 だけでなく、第1のレーザビームが基板を伝播する時間 t_1 も差し引いた値を用いればよい。

10

20

30

40

50

【0054】

以上で求めた式3または式4により、第1のレーザビームと第2のレーザビーム間の時間差 t_d を決定でき、光学系に必要となる光路差が計算できる。例えばレーザ発振器101から射出するレーザビームのパルス幅 t_2 が10ps、照射面である被照射体403の位相緩和時間 t_3 が0.1ps、基板の厚さが1mm、基板の屈折率が1.5である場合、 $t_1 + t_2 + t_3 = 20.1\text{ ps}$ となる。よって式3よりレーザビーム間の時間差 t_d を20.1ps以上とすれば、照射面における光干渉を防止することができる。また、時間差 t_d の上限については $1/N - t_1 - t_2 - t_3$ により計算され、パルス発振間隔 $1/N$ が10nsの場合、遅延時間の上限値は9.98nsとなり、時間差 t_d を20.1ps～9.98nsに設定すれば光干渉を防止できる。

10

【0055】

なお、メガヘルツレーザビームにより被照射体を結晶化するときは、被照射体の固化時間以内に時間差 t_d を設定するようにすると良い。固化時間以内に遅延時間を設定すれば、第1のレーザビームと第2のレーザビームにより被照射体に連続的なビーム照射ができる、分割ビーム間における連続的な結晶成長が実現できる。したがって、時間差 t_d は上記式3または式4の範囲内で被照射体の溶融時間等に応じ実施者が適時調整すると良い。例えばシリコンの固化時間は100nsであるため、時間差 t_d が100ns以内になるように設定すれば、シリコンを連続的に結晶成長させることができる。

【0056】

次に、図4を用いて、第1のレーザビームと第2のレーザビームとの間の干渉を防止する別の例を説明する。図3と同一のものについては図3と同じ符号及び記号を用いる。

20

【0057】

図4は、第1のレーザビーム401が被照射体403を通過してから、ガラス基板の裏面で反射した反射光が再び被照射体403に照射されるまでの間に、第2のレーザビーム402を被照射体403に照射する図である。図4(A)は、第1のレーザビーム401が被照射体403に照射された瞬間の様子であり、時間 $t=0$ とする。このとき、第1のレーザビーム401のパルス先端405が被照射体403に到達している。

【0058】

第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402の時間差を t_d とする。 t_d 秒後には、第2のレーザビーム402のパルス先端407が被照射体403に到達することになる。この時の状態を図4(B)に示す。この時点で、第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402の干渉を防止するには、第1のレーザビーム401のパルス終端406が被照射体403を通過し、さらに第1のレーザビーム401の位相情報が消失した後に、第2のレーザビーム402を被照射体403に照射させる必要がある。したがって、第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402との間の時間差 t_d はパルス幅 t_2 、位相緩和時間 t_3 を用いて以下の式5で表すことができる。

$$t_2 + t_3 < t_d \quad (\text{式5})$$

30

【0059】

図4(C)は図4(B)から第2のレーザビーム402のパルス幅 t_2 秒が経過した後の図であり、第2のレーザビーム402のパルス終端408が被照射体403を通過した様子を示している。

40

【0060】

さらに図4(C)から位相緩和時間 t_3 が経過すると、被照射体403において第2のレーザビーム402による位相情報は消失することになる。このときの状態を図4(D)に示す。第2のレーザビームの位相情報が消失した後に、基板裏面で反射した第1のレーザビーム401が再び被照射体403に照射されれば、第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402との間での干渉は起こらない。なお、第1のレーザビーム401のパルス先端405が被照射体403に照射されてから(図4(A))、再び被照射体403に照射されるまで(図4(D))の時間は、図3で示したように t_1 で表される。したがって、図4の状態で干渉の起こらない条件を満たすためには、以下の式6で表すことが

50

できる。

$$t_d + t_2 + t_3 < t_1 \quad (\text{式 } 6)$$

【0061】

式5、式6をまとめると第1のレーザビーム401と第2のレーザビーム402の干渉を防止できる条件は、式7で表すことができる。

$$t_2 + t_3 < t_d < t_1 - t_2 - t_3 \quad (\text{式 } 7)$$

【0062】

最後に、第2のレーザビーム402が被照射体403を通過して基板裏面で反射し、反射光が再び被照射体403に照射されるまでの間に、第1のレーザビーム401から1/N秒後に射出された第3のレーザビームが被照射体403に照射される場合を説明する。
10 第1のレーザビーム401が被照射体403に照射されてから(図4(A))、第2のレーザビーム402が被照射体403に照射され、被照射体403において第2のレーザビーム402による位相情報が消失するまで(図4(D))の時間は $t_d + t_2 + t_3$ で表される。ここで、レーザパルスの発振間隔1/Nが上記の時間 $t_d + t_2 + t_3$ よりも大きい場合には、第2のレーザビーム402と第3のレーザビームは、被照射体403において時間的に重なり合うことがなく、レーザビーム間の干渉が防止できることになる。上記の関係により、時間差 t_d に関する下記の式8が導出される。

$$t_d < 1/N - t_2 - t_3 \quad (\text{式 } 8)$$

【0063】

また、第1のレーザビーム401が被照射体403に照射されてから、第3のレーザビームが被照射体403に照射され、被照射体403において第3のレーザビームによる位相情報が消失するまでの時間は、 $1/N + t_2 + t_3$ で表される。上記の時間 $1/N + t_2 + t_3$ が経過後に、基板裏面で反射した第2のレーザビーム402が被照射体403に到達する場合、第3のレーザビームと第2のレーザビームは、被照射体403において時間的に重なり合うことがなく、レーザビーム間の干渉が防止できることになる。なお、第1のレーザビーム401が被照射体403に照射されてから、被照射体に第2のレーザビームが照射され、基板裏面で反射して再び被照射体403に到達するまでの時間は $t_d + t_1$ で表される。したがって、下記の式9が成立する場合に、第3のレーザビームの位相情報が被照射体403から消失した後に、基板裏面で反射した第2のレーザビームが再び被照射体に照射されることとなり、干渉が防止できる。
20

$$1/N + t_2 + t_3 < t_d + t_1 \quad (\text{式 } 9)$$

【0064】

式8、式9をまとめると、第1のレーザビームから1/N秒後に照射される第3のレーザビームと、第2のレーザビーム402との干渉を防止できる条件は式10で表すことができる。

$$1/N - t_1 + t_2 + t_3 < t_d < 1/N - t_2 - t_3 \quad (\text{式 } 10)$$

【0065】

なお、図3と同様に位相緩和時間 t_3 は第1もしくは第2のレーザビームが被照射体403に吸収されてから位相情報が1/eとなるまでの時間であるが、この時間は非常に短いため $t_3 = 0$ と近似できる。即ち、以下の式11で表すことができる。
40

$$1/N - t_1 + t_2 < t_d < 1/N - t_2 \quad (\text{式 } 11)$$

【0066】

メガヘルツレーザビームを3つ以上に分割した場合は、分割ビームのうち、任意の2つの分割ビームに式10または式11を満たす時間差 t_d を設ければ、干渉を防止できる。

【0067】

なお、メガヘルツレーザビームにより被照射体を結晶化するときは、被照射体の固化時間以内に時間差 t_d を設定するようにすると良い。固化時間以内に遅延時間を設定すれば、第1のレーザビームと第2のレーザビームにより被照射体に連続的なビーム照射ができる、分割ビーム間における連続的な結晶成長が実現できる。したがって、時間差 t_d は上記式10または式11の範囲内で被照射体の溶融時間等に応じ実施者が適時調整すると良い
50

。

【0068】

以上より、式から時間差 t_d を算出し、光路差を設ける光学系に反映させ設計すれば良い。そうすれば基板裏面で反射する反射光の挙動も考慮した光路差を設計できる。本発明の光路差を設けることで、光干渉なくアモルファシリコン膜を照射でき、アモルファシリコン膜に均一な熱エネルギー分布を与える、且つ連続的な結晶成長を行わすことができる。即ち、光干渉なく半導体膜を均一に照射するためには、半導体膜中に2つのレーザビームが存在していなければ良く、ひいては半導体膜中に2つのレーザビームの位相情報が存在しなければ良い。

【0069】

10

本実施例では時間を単位として時間差 t_d を説明したが、光路差に変換する場合は遅延時間に光速を乗じれば良い。

【0070】

以下の実施例1～8は実施可能な範囲で自由に組み合わせることができる。また実施の形態1または2にも、以下の実施例1～8は実施可能な範囲で自由に組み合わせができる。

【実施例1】

【0071】

実施例1では本発明のレーザ照射装置を示す。図5(A)はレーザ照射装置であり、図5(B)は分割前のビーム断面形状、図5(C)、(D)は分割時のビーム断面形状、図5(E)は照射面110の共通部分に対し分割ビームをそれぞれ異なる期間に照射した時のビーム断面形状である。図5(F)は分割前のビーム断面の強度分布、図5(G)、(H)は分割時のビーム断面の強度分布、図5(I)は照射面の共通部分に分割ビームを照射した時に合成される熱エネルギー分布を示す。

20

【0072】

図5(A)において、レーザ発振器101から発振されたレーザビーム107が分割手段102により第1のレーザビーム108、第2のレーザビーム109に分割される。レーザビーム107、108、109はメガヘルツレーザビームである。分割手段102としては分割ミラーを用いる。レーザビーム107は円形のビーム断面形状でありガウス分布の強度を持つ(図5(B)、(F))。第1のレーザビーム108、第2のレーザビーム109のビーム断面形状は、分割ミラーで分割され半円になる(図5(C)、(D))。強度はガウス分布を中心で分けた分布となり、互いに線対照的な分布となる(図5(G)、(H))。

30

【0073】

第1のレーザビーム108はミラー104に反射し、第2のレーザビーム109はミラー103に反射してそれぞれ偏向され、第1のレーザビーム108、第2のレーザビーム109は照射面110に対しそれぞれ異なる期間に照射される。第1のレーザビームと第2のレーザビームのそれぞれが照射される際は、図5(E)で示すように、第1のレーザビーム108、第2のレーザビーム109が持つ強度分布が緩和するようにして照射する。第1のレーザビーム108及び第2のレーザビーム109の照射により、照射面で合成された熱エネルギーは、図5(I)のように均一になる。シリンドリカルレンズ105、106では分割ビームの成形がなされる。

40

【0074】

分割手段102からミラー104までの光路長 d_1 と、分割手段102からミラー103までの光路長 d_2 を比べると、 $d_1 < d_2$ であり、この光路長の差 d ($d = d_2 - d_1$) が第1のレーザビーム108と第2のレーザビーム109の光路差になる。そして、光路差 d はレーザビーム107のパルス幅に相当する長さ以上パルス発振間隔に相当する長さ未満にする。本形態ではメガヘルツレーザビームを用いるため光路差 d は数mm～数十mmでよく、長い光路差を設ける必要がない。例えばパルス幅が10psであれば光路差 d は3mmとなり、非常に短い光路差となる。

50

【 0 0 7 5 】

また、実施の形態 2 のように基板裏面における反射光を考慮する場合は、式より算出した t_d に光速を乗じた光路差 d を設定すれば良い。

【 0 0 7 6 】

次に、1 / 2 波長板とビームスプリッタを組み合わせたレーザ照射装置の例について、図 6 を参照して説明する。図 5 (A) と同一のものについては同じ符号を付す。

【 0 0 7 7 】

メガヘルツレーザビームを発振するレーザ発振器 101 から出力されたレーザビーム 107 は、球面レンズ 201a 及び 201b より構成されるビームエキスパンダー 201 により長辺方向および短辺方向ともにそれぞれ約 5 倍に拡大される。¹⁰ 球面レンズ 201a は半径 50 mm、厚さ 7 mm、第 1 面の曲率半径が -220 mm である。球面レンズ 201b は半径 50 mm、厚さ 7 mm、第 2 面の曲率半径が -400 mm である。なお、ビームエキスパンダー 201 はレーザ発振器 101 から射出されたレーザビームの形状が小さい場合は有効であるが、レーザビームの形状が大きい場合は用いなくてもよく、実施者が適宜選択すればよい。本明細書ではレンズの曲率半径について、曲率中心がレンズ面に対して光線の射出側にあるときを正で示し、曲率中心がレンズ面に対して入射側にあるときを負で示している。また、レンズにおいて光が入射する面を第 1 面、射出する面を第 2 面とする。

【 0 0 7 8 】

ビームエキスパンダー 201 により拡大されたレーザビーム 107 は分割手段 102 により反射される。²⁰ 分割手段 102 は、図 5 (C)、(D)、(G)、(H) で示したように、レーザビーム 107 を互いに線対称の強度分布を持ち、断面形状が半円の第 1 のレーザビーム 108 および第 2 のレーザビーム 109 に 2 分割する。

【 0 0 7 9 】

第 1 のレーザビーム 108 はミラー 104 で反射され、1 / 2 波長板 203 を通過する。1 / 2 波長板 203 を通過することによって、第 1 のレーザビーム 108 の偏光方向は s 偏光となる。さらに第 1 のレーザビーム 108 は偏光ビームスプリッタ 205 に入射することにより、照射面 110 における照射位置が調整される。

【 0 0 8 0 】

一方、分割手段 102 により分割された第 2 のレーザビーム 109 はミラー 103 で反射され、1 / 2 波長板 202 を通過する。³⁰ 1 / 2 波長板 202 を通過することによって第 2 のレーザビームの偏光方向は p 偏光となる。さらにミラー 204 で反射した第 2 のレーザビーム 109 は偏光ビームスプリッタ 205 により、照射面 110 における照射位置が調整される。

【 0 0 8 1 】

第 2 のレーザビーム 109 の光路は、第 1 のレーザビーム 108 の光路に対してミラー 204 と偏光ビームスプリッタ 205 の間の距離 d だけ長く、第 2 のレーザビーム 109 には光路差 d が設けられている。⁴⁰ したがって、第 2 のレーザビーム 109 は第 1 のレーザビーム 108 よりも光路差 d だけ遅延して照射面 110 に照射されることになる。光路差 d はレーザビーム 107 のパルス幅に相当する長さ以上、パルス発振間隔に相当する長さ未満に設定する。また、基板裏面における反射光を考慮する場合は、実施の形態 2 で求めた式より算出した光路差を設定する。

【 0 0 8 2 】

第 1 のレーザビームと第 2 のレーザビームの照射領域が照射面 110 において重なるように偏光ビームスプリッタ 205 により調整することによって、照射面には均一な熱エネルギー分布を合成することができる。シリンドリカルレンズ 105 の焦点距離は 150 mm、厚さは 5 mm である。これにより、照射面 110 においてビーム断面の長軸方向の長さが 500 μ m となるようにレーザビームを成形することができる。また、シリンドリカルレンズ 106 の焦点距離は 20 mm である。これにより、照射面 110 においてビーム断面の短軸方向の長さが 10 μ m となるようにレーザビームを成形する。以上より、照射

面において線状ビームを形成することができる。

【0083】

本実施例では、レーザビームの干渉を抑えながら分割ビーム被照射面に照射することができるため、照射面の熱エネルギー分布を均一にすることができる。それゆえ均一な結晶成長を実現できる。また、分割ビームの照射において連続的な結晶成長ができ、大粒径の結晶を得ることができる。

【0084】

例えば、パルス幅 10 p s、周波数 10 M H z の Y A G レーザを分割して、分割ビームを被照射面の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射し、シリコンを結晶化するとする。シリコンの固化時間は一般的に 100 n s である。この Y A G レーザにコヒーレント長に相当する光路差を設けて光干渉を抑えた場合、通常、分割ビーム同士に 300 n s 以上の時間差を設けなくてはならない。したがって、分割ビームの時間差がシリコンの固化時間よりも長いため、分割ビーム間でシリコンを連続的に結晶化することはできない。一方で、この Y A G レーザにパルス幅以上の光路差を設けた場合は、分割ビーム同士に少なくとも 10 p s 以上の時間差が生じる。10 p s はシリコンの固化時間よりも非常に短いため、分割ビーム間で連続的にシリコンを結晶化することができる。

【実施例 2】

【0085】

実施例 2 では実施例 1 とは異なる構成のレーザ照射装置について図 7 を用いて説明する。図 7 (A) はレーザ照射装置の平面図、図 7 (B) は側面図である。図 6 と同一のものは同じ符号を付し説明を省略する。

【0086】

メガヘルツレーザビームを発振するレーザ発振器 101 から出力されたレーザビーム 107 は、球面レンズ 201a 及び 201b より構成されるビームエキスパンダー 201 により、ビーム断面の長辺方向および短辺方向が拡大される。

【0087】

ビームエキスパンダー 201 を通過したレーザビーム 107 は、シリンドリカルレンズアレイ 701 により分割される。ここでは 2 つに分割する例を示すが、2 つ以上に分割するシリンドリカルレンズアレイを用いても良い。シリンドリカルレンズアレイ 701 を構成するシリンドリカルレンズは厚さを 5 m m、第 1 面の曲率半径を 40 m m とする。

【0088】

ここで、2 分割されたレーザビームをそれぞれ、第 1 のレーザビーム 108、第 2 のレーザビーム 109 とする。そして、第 2 のレーザビーム 109 のみをシリンドリカルレンズアレイ 701 の後方に配置した遅延手段 702 を通過させる。遅延手段 702 は、第 2 のレーザビーム 109 を第 1 のレーザビーム 108 に対して遅延させる機能を有するものであれば良い。ここでは遅延手段 702 として石英板を用いる。使用する石英板の厚さを d_1 、光速を c 、石英板の屈折率を n とすると、分割されたレーザビーム間の光路差は $d_1(n - 1)/c$ で表され、石英板の厚さを選択することで光路差を選ぶことができる。

【0089】

石英板の他、遅延手段 702 としては、メガヘルツレーザビームに対して吸収性を有さない媒体を用いることができる。例えば、ガラス (BK7)、水、またはフッ化物でなる結晶等がある。なお、石英もメガヘルツレーザビームに対して吸収性を有さない。

【0090】

第 1 のレーザビームおよび第 2 のレーザビームはシリンドリカルレンズ 703 を通過することにより集光される。シリンドリカルレンズ 703 は、レンズ第 1 面の曲率半径が 70 m m、厚さ 5 m m である。これにより、シリンドリカルレンズ 703 の後方において第 1 のレーザビームおよび第 2 のレーザビームの照射領域が重なるようになり、照射面において均一な熱エネルギー分布を合成できる。

【0091】

そして第 1 のレーザビーム 108 と第 2 のレーザビーム 109 をシリンドリカルレンズ

10

20

30

40

50

105、106により照射面110に投影する。シリンドリカルレンズ105により、ビーム断面の長軸方向の長さを500μmに成形する。また、照射面におけるビーム断面の短軸方向の長さはシリンドリカルレンズ106により成形される。シリンドリカルレンズ106の焦点距離は20mmであり、照射面におけるビーム断面の短軸方向の長さが10μmとなるように成形される。上記光学系により照射面に線状のビームスポットを形成することが可能である。

【0092】

なお、本明細書中において、「線状」とは、厳密な意味で「線」を意味しているのではなく、アスペクト比の大きい長方形（もしくは長橢円形）を意味する。例えば、アスペクト比が2以上（好ましくは10～10000）のものを線状と呼ぶ。

10

【0093】

本実施例では遅延手段による屈折率を用いて光路差を設ける方法を説明した。また、本実施例において、実施例1のように屈折率を利用せずに光路差を設ける方法と組み合わせて光路差を設定しても良い。

【0094】

本実施例では、極短パルスのメガヘルツレーザビームを用いることによって、レーザビームの干渉の影響を低減させながらメガヘルツレーザビームを分割し、被照射体に照射することができるため、メガヘルツレーザビームの照射強度を均一にすることができる。

【実施例3】

【0095】

20

本実施例では極短パルスのメガヘルツレーザビームの分割にビームスプリッタを用いたレーザ照射装置の例について、図8を参照して説明する。図5(A)と同一のものについては同じ符号を付し説明を省略する。図8(A)はレーザ照射装置、図8(B)はメガヘルツレーザビームの分割前のビーム断面形状、図8(C)、(D)は分割時のビーム断面形状、図8(E)は被照射面の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射したビームの断面形状である。図8(F)は分割前のビーム断面の強度分布、図8(G)、(H)は分割時のビーム断面の強度分布、図8(I)は分割ビームの照射によって被照射面で合成された熱エネルギー分布を示す。

【0096】

レーザ発振器101から出力されたレーザビーム107は非線形光学素子801により第二高調波に変換される。非線形光学素子801を通過したレーザビームは球面レンズ201a及び201bより構成されるビームエキスパンダー201により長辺方向および短辺方向ともにそれぞれ拡大される。なお、レーザビームの大きさ等によってはビームエキスパンダーは用いなくてもよい。

30

【0097】

ビームエキスパンダーにより拡大されたレーザビーム107は、第1の1/2波長板806aまたは第2の1/2波長板806bのいずれかを通過する。第1の1/2波長板806aを通過することによってレーザビーム107の半分は第1の偏光方向に偏光され、第2の1/2波長板806bを通過することによってレーザビーム107の半分は第1の偏光方向とは90°異なる第2の偏光方向に偏光される。第1の1/2波長板806a及び第2の1/2波長板806bは、偏光ビームスプリッタ802により、第1のレーザビーム108及び第2のレーザビーム109の断面形状を図8(C)、(D)のように半円にし、その強度分布を図8(G)、(H)のようにガウス分布を線対称に分けた分布にするために設ける。

40

【0098】

次に偏光ビームスプリッタ802によりレーザビーム107は第1のレーザビーム108と第2のレーザビーム109に分離される。第1のレーザビーム108は偏光ビームスプリッタ802を透過し、ミラー104で反射される。さらに偏光ビームスプリッタ804に入射し、照射面110における照射位置が調整される。第1のレーザビームはその照射領域が第2のレーザビームの照射領域と重なり、第2のレーザビームとの間で均一な熱

50

エネルギーが照射面で合成されるように調整される。

【0099】

一方、第2のレーザビームは偏光ビームスプリッタ802により反射され、ミラー103で反射される。さらに偏光ビームスプリッタ804に入射することにより、照射面110における照射位置が調整される。第2のレーザビームはその照射領域が第1のレーザビームの照射領域と重なり、第1のレーザビームとの間で均一な熱エネルギーが照射面で合成されるように調整される。

【0100】

ここで、ミラー103と偏光ビームスプリッタ804との間には、遅延手段803が配置してある。ここでは遅延手段803として石英板を用いる。これにより第1のレーザビーム108と第2のレーザビーム109との間には光路差が生じることになり、照射面において第1のレーザビームと第2のレーザビームとの間の干渉が防止される。光路差は石英板の厚さを選択することでいかようにも設定できる。また、第1のレーザビームと、第2のレーザビームとを被照射面の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射することにより、照射面における熱エネルギー分布を均一にすることができる。

【0101】

第1のレーザビーム108と第2のレーザビーム109は、シリンドリカルレンズ105に入射することでビーム断面の長軸方向の長さが成形され、シリンドリカルレンズ106に入射することでビーム断面の短軸方向の長さが成形される。なお、偏光ビームスプリッタ802で分割された直後の第1のレーザビーム108、第2のレーザビーム109は、図8(G)、(H)に示すように、その切り口がレーザビーム107の強度分布を線対称に分けた強度分布を保持しており、ビームが伝搬されるにつれて、切り口がだれてきてレーザビーム107の強度分布が崩れてくる。しかしながら、偏光ビームスプリッタ802の位置と照射面110の位置を、ビーム断面の長軸方向に作用するシリンドリカルレンズ105に対して共役の位置とすることで、この問題を解消することができる。

【0102】

本実施例では遅延手段による屈折率を用いて光路差を設ける方法を説明した。また、本実施例を、実施例1のように屈折率を利用せずに光路差を設ける方法と組み合わせて光路差を設定しても良い。

【0103】

本実施例では、極短パルスのメガヘルツレーザビームを用いることによって、メガヘルツレーザビームの干渉の影響を低減させながらメガヘルツレーザビームを分割し、分割したビームを被照射面の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射することができるため、被照射面におけるメガヘルツレーザビームの熱エネルギー分布を均一にすることができる。

【実施例4】

【0104】

本実施例では、実施例3と異なるレーザビーム照射方法について図9を用いて説明する。図9(A)はレーザ照射装置を示し、図9(B)、(C)は第1及び第2のレーザビーム断面形状、図9(D)は被照射面の共通部分に対しそれぞれ異なる期間に照射したビームの断面形状を示し、図9(E)～(F)は図9(B)～(C)に対応する強度分布を示し、図9(G)は分割ビームの照射によって被照射面で合成された熱エネルギー分布を示している。

【0105】

レーザ発振器101から出力されたレーザビーム107は非線形光学素子801により第二高調波に変換される。非線形光学素子801を通過したレーザビームは球面レンズ201a及び201bより構成されるビームエキスパンダー201により長辺方向および短辺方向ともにそれぞれ拡大される。

【0106】

ビームエキスパンダーにより拡大されたレーザビーム107は、偏光ビームスプリッタ

10

20

30

40

50

802により第1のレーザビーム108と第2のレーザビーム109に分離される。分割された第1のレーザビーム108と第2のレーザビーム109の断面形状は円状であり、その強度分布はガウス分布を有する(図9(B)、(C)、(E)、(F))。

【0107】

第1のレーザビーム108は偏光ビームスプリッタ802を透過し、ミラー104で反射される。さらに偏光ビームスプリッタ804に入射する。

【0108】

一方、第2のレーザビームは偏光ビームスプリッタ802により反射され、ミラー103で反射される。さらに偏光ビームスプリッタ804に入射する。

【0109】

具体的には、第2のレーザビーム109の偏光ビームスプリッタ802から偏光ビームスプリッタ804までの光路長が、第1のレーザビーム108の偏光ビームスプリッタ802から偏光ビームスプリッタ804までの光路長よりも、ビーム直径の0.5倍以下の長さ分だけ長くなるようにする。このようにすると、第1のレーザビーム108、第2のレーザビーム109を被照射面の共通部分にそれぞれ異なる期間に照射する際、均一な熱エネルギー分布を合成することができる。偏光ビームスプリッタ802で分割した場合、図9(E)、(F)に示すように第1のレーザビーム108、第2のレーザビーム109の強度分布はガウス分布となる。そのため、第1及び第2のレーザビームの被照射面での照射位置を偏光ビームスプリッタ804により調整する際、完全に重ね合わせると第1及び第2のレーザビームがガウス分布の強度を保持するため、均一なエネルギー分布が得られない。しかし、本実施例のように第1のレーザビーム108と第2のレーザビーム109それぞれの照射面を多少ずらして照射することで、照射面における熱エネルギー分布を均一にすることができる。

【0110】

また、第2のレーザビーム109の偏光ビームスプリッタ802から偏光ビームスプリッタ804までの光路長を、第1のレーザビーム108の偏光ビームスプリッタ802から偏光ビームスプリッタ804までの光路長よりも、ビーム直径の0.5~0.7倍の長さ分だけ長くなるようにしても良い。ビーム直径の0.5倍以上の光路差を設けると、被照射面で合成される熱エネルギー分布は図9(G)に示すように均一にはならない。しかし、ビーム断面面積を広くすることができ、より効率的に被照射面を照射することができる。ただし、ビーム直径の0.7倍以上の光路差を設けると、ビーム断面においてエネルギー密度が弱く部分的に結晶化されない領域がでてきてしまうため、光路差をビーム直径の0.5~0.7倍の長さに設定すると良い。

【実施例5】

【0111】

本実施例では本発明を用いて半導体装置を作製する方法を説明する。

【0112】

図10を用いて半導体装置の作製方法について説明する。まず、図10(A)のように、絶縁基板70上に下地膜71、非晶質半導体膜72を順次積層して形成する。そして非晶質半導体膜72に本発明によるメガヘルツレーザビームを照射する(図10(B))。メガヘルツレーザビームを均一に非晶質半導体膜に照射することで、非晶質半導体膜を均一に結晶化することができ、大粒径を持つ結晶性半導体膜73を得ることができる。そのため結晶性半導体膜73を用いて、チャネルのキャリア移動方向に結晶粒界がほとんど存在しない薄膜トランジスタ(Thin Film Transistor:TFT)の形成が可能となる。

【0113】

その後、図10(C)に示すように結晶性半導体膜73をエッチングし、島状の半導体膜74~77を形成する。次に、島状の半導体膜74~77を覆うようにゲート絶縁膜78を形成する。そのゲート絶縁膜78には、例えば酸化珪素、窒化珪素または窒化酸化珪素等を用いることができる。その際の成膜方法には、プラズマCVD法、スパッタ法など

10

20

30

40

50

を用いることができる。例えば、スパッタ法を用いて、膜厚30nm～200nmの珪素を含む絶縁膜を形成すればよい。

【0114】

次に、ゲート絶縁膜78上に導電膜を形成しエッチングすることでゲート電極を形成する。その後、ゲート電極をマスクとして、島状の半導体膜74～77にn型またはp型の導電性を付与する不純物を選択的に添加し、ソース領域、ドレイン領域、さらにはLDD領域等を形成する。上述の工程によって、N型トランジスタ710、712と、P型トランジスタ711、713を同一基板上に形成することができる(図10(D))。続いて、それらの保護膜として絶縁膜714を形成する。この絶縁膜714には、プラズマCVD法またはスパッタ法を用い、膜厚100nm～200nmの珪素を含む絶縁膜を、単層又は積層構造として形成すれば良い。例えば、プラズマCVD法により膜厚100nmの酸化窒化珪素膜を形成すればよい。10

【0115】

次いで、絶縁膜714上に有機絶縁膜715を形成する。有機絶縁膜715としては、SOG(Spin On Glass)法によって塗布されたポリイミド、ポリアミド、BCB、アクリル等の有機絶縁膜を用いる。絶縁基板70上に形成された薄膜トランジスタによる凹凸を緩和し平坦化したい場合は、有機絶縁膜715として平坦性に優れた材料を用いることが好ましい。さらに、フォトリソグラフィ法を用いて、絶縁膜714及び有機絶縁膜715をパターン加工して、不純物領域に達するコンタクトホールを形成する。20

【0116】

次に、導電膜を形成し、該導電膜をパターン加工して、配線716～723を形成する。その後、保護膜として絶縁膜724を形成すると、図10(D)に図示するような半導体装置が完成する。なお、本発明のレーザアニール方法を用いた半導体装置の作製方法は、上述した薄膜トランジスタの構成に限定されない。本実施例では、メガヘルツレーザビームを分割し、それぞれ異なる期間に照射することで得られる結晶性半導体膜をTFTの活性層として用いることを特徴とする。その結果、大粒径の結晶を得ることができ、半導体装置の電子移動度を高くすることができる。20

【0117】

また、レーザ光による結晶化の前に、金属元素を非晶質半導体膜に添加して結晶化する工程を設けてもよい。金属元素としては、ニッケル(Ni)、ゲルマニウム(Ge)、鉄(Fe)、パラジウム(Pd)、スズ(Sn)、鉛(Pb)、コバルト(Co)、白金(Plt)、銅(Cu)、金(Au)といった元素を用いることができる。金属元素を添加して結晶化した後に、さらにレーザ光を照射すると、金属元素による結晶化の際に形成された結晶が結晶核として再結晶化される。そのため、レーザ光照射のみによる結晶化工程に比べて、より半導体膜の結晶性を高めることができ、レーザ光照射による結晶化後の半導体膜表面の荒れが抑えられる。よって、後に形成される半導体素子、代表的にはTFTの特性のばらつきがより抑えられ、オフ電流を抑えることができる。30

【0118】

なお、金属元素を添加後、加熱処理により結晶化し、さらにレーザ光の照射により結晶性を高めても良いし、金属元素を添加してから加熱処理をせずにレーザ照射により結晶化しても良い。40

【0119】

本実施例では、本発明のレーザ照射方法を半導体膜の結晶化に用いた例を示したが、半導体膜にドーピングした不純物元素の活性化を行うために用いてもよい。また、本実施例においてドライバやCPUなどの機能回路を用途とする半導体装置を作製する場合は、LDD領域を有する薄膜トランジスタ又はLDD領域がゲート電極とオーバーラップする構造の薄膜トランジスタを形成するのが好適である。また、半導体装置を高速化するためには薄膜トランジスタの微細化を図ることが好ましい。本実施例により完成される半導体装置のN型トランジスタ710、712、P型トランジスタ711、713はLDD領域を有するLDD構造であるため、ドライバやCPUに用いることが好適である。50

【実施例 6】**【0120】**

本実施例では実施例 5 で作製した半導体装置を用いて E L 表示装置を作製する方法を図 17 を用いて説明する。

【0121】

配線 722 に接するように画素電極 504 を形成する。画素電極 504 は透明導電膜をエッティングして形成する。透明導電膜としては、酸化インジウムと酸化スズとの化合物、酸化インジウムと酸化亜鉛との化合物、酸化亜鉛、酸化スズ、又は酸化インジウムを用いることができる。

【0122】

画素電極を形成後、樹脂材料でなる隔壁 505 を形成する。隔壁 505 は 1 ~ 2 μm 厚のアクリル膜又はポリイミド膜をエッティングして画素電極 504 の一部を露出させるように形成する。なお、隔壁 505 の下に遮蔽膜（図示しない）となる黒色の膜を適宜形成してもよい。

【0123】

次に E L 層 506 を形成する。E L 層 506 の発光材料が有機化合物であるときは有機 E L 素子、発光材料が無機化合物であるときは無機 E L 素子となる。

【0124】

無機 E L 素子は、素子構成により分散型無機 E L 素子と薄膜型無機 E L 素子とに分類される。分散型無機 E L 素子は、発光材料の粒子をバインダ中に分散させた発光層を有するものである。薄膜型無機 E L 素子は、蛍光材料の薄膜からなる発光層を有している。その発光メカニズムは、両者とも、高電界で加速された電子による母体材料又は発光中心の衝突励起により発光が得られる。無機 E L 素子を形成する場合は、画素電極 504 及び電極 507 の間に、E L 層として、発光材料を分散させた絶縁層を設けるか、絶縁層で挟持された発光層を設けるとよい。発光材料としては、例えば硫化亜鉛 (ZnS)、硫化ストロンチウム (SrS) を用いることができる。無機 E L 素子の E L 層はスクリーン印刷または蒸着等で形成することができる。

【0125】

以下に、有機 E L 素子を用いる場合の例を説明する。

【0126】

E L 層 506 及び電極 (MgAg 電極) 507 を、真空蒸着法を用いて大気解放しないで連続形成する。なお、E L 層 506 の膜厚は 100 nm ~ 1 μm 、電極 507 の厚さは 180 ~ 300 nm (典型的には 200 ~ 250 nm) とすれば良い。E L 層は他に、インクジェット、スクリーン印刷法などによって成膜されても良い。

【0127】

この工程では、赤色に対応する画素、緑色に対応する画素及び青色に対応する画素に対して順次 E L 層及び陰極を形成する。但し、E L 層は溶液に対する耐性に乏しいためフォトリソグラフィ技術を用いずに各色個別に形成しなくてはならない。そこでメタルマスクを用いて所望の画素以外を隠し、必要箇所だけ選択的に E L 層及び陰極を形成するのが好ましい。各色の少なくとも 1 つの発色はトリプレット化合物で行う。シングレット化合物に比べるとトリプレット化合物は輝度が明るいため、暗く見える赤色に対応する画素をトリプレット化合物で形成し、その他の画素をシングレット化合物で形成すると良い。

【0128】

即ち、まず赤色に対応する画素以外を全て隠すマスクをセットし、そのマスクを用いて赤色発光の E L 層及び電極を選択的に形成する。次いで、緑色に対応する画素以外を全て隠すマスクをセットし、そのマスクを用いて緑色発光の E L 層及び電極を選択的に形成する。次いで、同様に青色に対応する画素以外を全て隠すマスクをセットし、そのマスクを用いて青色発光の E L 層及び電極を選択的に形成する。なお、ここでは全て異なるマスクを用いるように記載しているが、同じマスクを使いまわしても構わない。また、全画素に E L 層及び電極を形成するまで真空を破らずに処理することが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 9 】

なお、E L 層 5 0 6 としては公知の材料を用いることができる。公知の材料としては、駆動電圧を考慮すると有機材料を用いるのが好ましい。例えば正孔注入層、正孔輸送層、発光層及び電子注入層でなる4層構造をE L 層とすれば良い。モリブデン酸化物及び-N P D を混合した膜をE L 層としても良い。有機材料と無機材料とを組み合わせたハイブリット層をE L 層としても良い。有機材料をE L 層に用いる場合は、低分子材料、中分子材料、高分子材料のそれぞれを使うことができる。また、本実施の形態ではE L 素子の陰極としてM g A g 電極を用いた例を示すが、公知の他の材料であっても良い。

【 0 1 3 0 】

電極 5 0 7 まで形成された時点で発光素子 5 0 8 が完成する。その後、発光素子 5 0 8 を完全に覆うようにして保護膜 5 0 9 を設ける。保護膜 5 0 9 としては、炭素膜、窒化珪素膜、もしくは窒化酸化珪素膜を含む絶縁膜を用いることができ、これらの絶縁膜を単層又は積層させて用いることができる。

【 0 1 3 1 】

さらに保護膜 5 0 9 を覆って封止材 5 1 0 を設け、カバー材 5 1 1 を貼り合わせる。封止材 5 1 0 としては紫外線硬化樹脂であり、内部に吸湿効果を有する物質もしくは酸化防止効果を有する物質を用いることが好ましい。また、本実施の形態においてカバー材 5 1 1 にはガラス基板、石英基板やプラスティック基板を用いることができる。図示はしないが、封止材 5 1 0 とカバー材 5 1 1 との間に偏光板を設けても良い。偏光板を設けることでコントラストの高い表示を提供できる。

【 0 1 3 2 】

こうして図 1 7 に示すような駆動回路部を構成するP型トランジスタ 7 1 1 及びN型トランジスタ 7 1 0 、画素部を構成するスイッチング用のN型トランジスタ 7 1 2 及び電流制御用のP型トランジスタ 7 1 3 を有する構造のアクティブマトリクス型E L 表示装置が完成する。本形態ではゲート電極と重ならないL D D 領域を有するT F T 構造を説明したが、T F T はこの構造に限定されない。L D D 領域を有さなくても良いし、L D D 領域領域の一部または全部をゲート電極と重ねるように形成しても良い。

【 0 1 3 3 】

以上の工程によりE L 表示装置を作製できる。

【 実施例 7 】**【 0 1 3 4 】**

本実施例では、薄膜集積回路または非接触型薄膜集積回路装置（無線チップ、無線I C タグ、R F I D （無線認証、Radio Frequency Identification）とも呼ばれる）を図 5 ~ 図 9 のいずれかのレーザ照射装置を用いて作製する方法を図 1 1 に示す。

【 0 1 3 5 】

まず、スパッタ法を用いてガラス基板（第1の基板）1 7 0 0 上に剥離層 1 7 0 1 を形成する。剥離層 1 7 0 1 は、スパッタ法、減圧C V D 法、プラズマC V D 法等を用いて形成することができる。本実施例では、膜厚 5 0 n m 程度の非晶質シリコンをスパッタ法で形成し、剥離層 1 7 0 1 として用いる。なお剥離層 1 7 0 1 はシリコンに限定されず、エッチングにより選択的に除去できる材料（例えば、W、M o など）で形成すれば良い。剥離層 1 7 0 1 の膜厚は 5 0 ~ 6 0 n m とするのが望ましい。

【 0 1 3 6 】

次いで、剥離層 1 7 0 1 上に下地絶縁膜 1 7 0 2 を形成する。下地絶縁膜 1 7 0 2 は第1の基板中に含まれるN a などのアルカリ金属やアルカリ土類金属が、半導体膜中に拡散し、T F T などの半導体素子の特性に悪影響を及ぼすのを防ぐために設ける。また、下地絶縁膜 1 7 0 2 は、後の半導体素子を剥離する工程において、半導体素子を保護する役目も有している。下地絶縁膜 1 7 0 2 は単層であっても複数の絶縁膜を積層したものであっても良い。よってアルカリ金属やアルカリ土類金属の半導体膜への拡散を抑えることができる酸化珪素や、窒化珪素、窒素を含む酸化珪素（S i O N ）、酸素を含む窒化珪素（S

10

20

30

40

50

i N O) などの絶縁膜を用いて形成する。

【 0 1 3 7 】

次に、下地絶縁膜 1 7 0 2 上に非晶質半導体膜 1 7 0 3 を形成する。非晶質半導体膜 1 7 0 3 は、下地絶縁膜 1 7 0 2 を形成した後、大気に曝さずに形成することが望ましい。非晶質半導体膜 1 7 0 3 の膜厚は 2 0 ~ 2 0 0 n m (望ましくは 4 0 ~ 1 7 0 n m 、好ましくは 5 0 ~ 1 5 0 n m) とする。

【 0 1 3 8 】

そして、上記工程で作製された基板を図 5 ~ 図 9 で示したレーザ照射装置を用いてメガヘルツレーザビームを照射し、非晶質半導体膜 1 7 0 3 を均一に結晶化する。そして結晶性半導体膜 1 7 0 4 が形成される (図 1 1 (A) 参照) 。 10

【 0 1 3 9 】

次いで、図 1 1 (B) に示すように、結晶性半導体膜 1 7 0 4 をエッチングして、島状の半導体層 1 7 0 5 ~ 1 7 0 7 を形成した後、ゲート絶縁膜 1 7 0 8 を形成する。ゲート絶縁膜 1 7 0 8 は、プラズマ C V D 法又はスパッタリング法などを用い、窒化珪素、酸化珪素、窒素を含む酸化珪素又は酸素を含む窒化珪素を含む膜を、単層又は積層させて形成することができる。

【 0 1 4 0 】

なお、ゲート絶縁膜 1 7 0 8 を形成した後、3 ~ 1 0 0 % の水素を含む雰囲気中で、3 0 0 ~ 4 5 0 で 1 ~ 1 2 時間の熱処理を行ない、島状の半導体層 1 7 0 5 ~ 1 7 0 7 を水素化する工程を行なっても良い。また、水素化の他の手段として、プラズマ水素化 (プラズマにより励起された水素を用いる) を行っても良い。 20

【 0 1 4 1 】

次に図 1 1 (C) に示すように、ゲート電極 1 7 0 9 ~ 1 7 1 1 を形成する。ここでは、S i と W をスパッタ法で積層するように形成した後、レジスト 1 7 1 2 をマスクとしてエッチングを行なうことにより、ゲート電極 1 7 0 9 ~ 1 7 1 1 を形成した。勿論、ゲート電極 1 7 0 9 ~ 1 7 1 1 の導電材料、構造、作製方法は、これに限定されるものではなく、適宜選択することができる。例えば、n 型を付与する不純物 (リン、ヒ素等) がドーピングされた S i と N i S i (ニッケルシリサイド) との積層構造や、T a N (窒化タンタル) と W (タングステン) の積層構造としてもよい。また、種々の導電材料を用いて単層で形成しても良い。また、ゲート電極とアンテナとを同時に形成する場合には、それらの機能を考慮して材料を選択すればよい。 30

【 0 1 4 2 】

また、レジストマスクの代わりに、酸化珪素等のマスクを用いてもよい。この場合、エッチングして酸化珪素、窒素を含む酸化珪素等のマスク (ハードマスクと呼ばれる。) を形成する工程が加わるが、エッチング時におけるマスクの膜減りがレジストよりも少ないため、所望の幅のゲート電極 1 7 0 9 ~ 1 7 1 1 を形成することができる。また、レジスト 1 7 1 2 を用いずに、液滴吐出法を用いて選択的にゲート電極 1 7 0 9 ~ 1 7 1 1 を形成しても良い。

【 0 1 4 3 】

次いで、図 1 1 (D) に示すように、p チャネル型 T F T となる島状の半導体層 1 7 0 6 をレジスト 1 7 1 3 で覆い、ゲート電極 1 7 0 9 、 1 7 1 1 をマスクとして、島状の半導体層 1 7 0 5 、 1 7 0 7 に、n 型を付与する不純物元素 (代表的には P (リン) 又は A s (硅素)) をドープする。このドーピング工程によって、ゲート絶縁膜 1 7 0 8 を介してドーピングがなされ、島状の半導体層 1 7 0 5 に、一対の低濃度不純物領域 1 7 1 6 とチャネル形成領域 1 7 1 9 a が形成され、島状の半導体層 1 7 0 7 に一対の低濃度不純物領域 1 7 1 7 、チャネル形成領域 1 7 1 9 b が形成される。なお、このドーピング工程は、p チャネル型 T F T となる島状の半導体層 1 7 0 6 をレジスト 1 7 1 3 で覆わずに実行ても良い。

【 0 1 4 4 】

次いで、図 1 1 (E) に示すように、レジスト 1 7 1 3 をアッティング等により除去した 50

後、nチャネル型TFTとなる島状の半導体層1705、1707を覆うように、レジスト1718を新たに形成し、ゲート電極1710をマスクとして、島状の半導体層1706にp型を付与する不純物元素（代表的にはB（ホウ素））をドープする。このドーピング工程によって、ゲート絶縁膜1708を介してドーピングがなされ、島状の半導体層1706に一対のp型の高濃度不純物領域1720、チャネル形成領域1719cが形成される。

【0145】

次いで、レジスト1718をアッシング等により除去した後、図12（A）に示すように、ゲート絶縁膜1708及びゲート電極1709～1711を覆う絶縁膜1721を形成する。

10

【0146】

その後、エッチバック法により、絶縁膜1721をエッチングし、図12（B）に示すように、ゲート電極1709～1712の両側壁に接するサイドウォール1722～1724を形成する。エッチングガスとしてはCHF₃とHeの混合ガスを用いた。

【0147】

次いで、図12（C）に示すように、pチャネル型TFTとなる島状の半導体層1706を覆うように、レジスト1726を新たに形成し、ゲート電極1709、1711及びサイドウォール1722、1724をマスクとして、n型を付与する不純物元素（代表的にはP又はAs）をドープする。このドーピング工程によって、ゲート絶縁膜1708を介してドーピングがなされ、島状の半導体層1705、1707に、一対のn型の高濃度不純物領域1727、1728が形成される。

20

【0148】

次に、レジスト1726をアッシング等により除去した後、不純物領域の熱活性化を行っても良い。このときに例えば、50nmの窒素を含む酸化珪素膜を成膜した後、550、4時間、窒素雰囲気下において、加熱処理を行なってもよい。また、水素を含む窒化珪素膜を、100nmの膜厚に形成した後、410、1時間、窒素雰囲気下において、加熱処理を行なってもよい。これらの加熱処理により多結晶半導体膜の欠陥を改善することができる。これは、多結晶半導体膜中に存在するダングリングボンドを終端させるものであり、水素化処理工程などと呼ばれる。

【0149】

30

上述した一連の工程により、nチャネル型TFT1730、pチャネル型TFT1731、nチャネル型TFT1732が形成される。上記作製工程において、エッチバック法の条件を適宜変更し、サイドウォールのサイズを調整することで、チャネル長0.2μm～2μmを有する微細化TFTを形成することができる。さらに、この後、TFT1730～1732を保護するためのパッシベーション膜を形成しても良い。

【0150】

次いで、図12（D）に示すように、TFT1730～1732を覆うように、第1の層間絶縁膜1733を形成する。さらに、第1の層間絶縁膜1733上に、第2の層間絶縁膜1734を形成する。なお、第1の層間絶縁膜1733又は第2の層間絶縁膜1734中にフィラーを混入させておいても良い。それは、第1の層間絶縁膜1733又は第2の層間絶縁膜1734と、後に形成される配線を構成する導電材料等との熱膨張率の差から生じる応力によって、第1の層間絶縁膜1733又は第2の層間絶縁膜1734の膜剥がれや割れが生じるのを防ぐためである。

40

【0151】

次いで、図12（D）に示すように、第1の層間絶縁膜1733、第2の層間絶縁膜1734及びゲート絶縁膜1708にコンタクトホールを形成し、TFT1730～1732に接続する配線1735～1739を形成する。なお、配線1735、1736はnチャネル型TFT1730の高濃度不純物領域1727に、配線1736、1737はpチャネル型TFT1731の高濃度不純物領域1720に、配線1738、1739はnチャネル型TFT1732の高濃度不純物領域1728に、それぞれ接続されている。さら

50

に配線 1739 は、n チャネル型 TFT 1732 のゲート電極 1711 にも接続されている。n チャネル型 TFT 1732 は、乱数 ROM のメモリ素子として用いることができる。

【 0152 】

次いで、図 13 (A) に示すように、配線 1735 ~ 1739 を覆うように、第 2 の層間絶縁膜 1734 上に第 3 の層間絶縁膜 1741 を形成する。第 3 の層間絶縁膜 1741 は、配線 1735 が一部露出するように形成する。なお、第 3 の層間絶縁膜 1741 は、第 1 の層間絶縁膜 1733 と同様の材料を用いて形成することが可能である。

【 0153 】

次に、第 3 の層間絶縁膜 1741 上にアンテナ 1742 を形成する。アンテナ 1742 は、Ag、Au、Cu、Pd、Cr、Mo、Ti、Ta、W、Al、Fe、Co、Zn、Sn、Ni などの金属または金属化合物を含む導電材料を用いることができる。そしてアンテナ 1742 は配線 1735 と接続されている。なお、図 13 (B) では、アンテナ 1742 が配線 1735 と直接接続されているが、本発明の無線 IC タグはこの構成に限定されない。例えば別途形成した配線を用いて、アンテナ 1742 と配線 1735 とを電気的に接続するようにしても良い。

【 0154 】

アンテナ 1742 は印刷法、フォトリソグラフィ法、蒸着法または液滴吐出法などを用いて形成することができる。図 13 (A) では、アンテナ 1742 が単層の導電膜で形成されているが、複数の導電膜が積層されたアンテナ 1742 を形成することも可能である。例えば、Ni などで形成した配線に、Cu を無電解めっきでコーティングして、アンテナ 1742 を形成しても良い。なお液滴吐出法とは、所定の組成物を含む液滴を細孔から吐出して所定のパターンを形成する方法を意味し、インクジェット法などがその範疇に含まれる。また印刷法にはスクリーン印刷法、オフセット印刷法などが含まれる。印刷法、液滴吐出法を用いることで、露光用のマスクを用いずとも、アンテナ 1742 を形成することが可能になる。また、液滴吐出法、印刷法だと、フォトリソグラフィ法と異なり、エッチャリングにより除去されてしまうような材料の無駄がない。また高価な露光用のマスクを用いなくとも良いので、無線 IC タグの作製に費やされるコストを抑えることができる。

【 0155 】

液滴吐出法または各種印刷法を用いる場合、例えば、Cu を Ag でコートした導電粒子なども用いることが可能である。なお液滴吐出法を用いてアンテナ 1742 を形成する場合、アンテナ 1742 の密着性が高まるような処理を、第 3 の層間絶縁膜 1741 の表面に施すことが望ましい。密着性を高める方法として、具体的には、例えば触媒作用により導電膜または絶縁膜の密着性を高める金属または金属化合物を第 3 の層間絶縁膜 1741 の表面に付着させる方法、形成される導電膜または絶縁膜との密着性が高い有機絶縁膜、金属、金属化合物を第 3 の層間絶縁膜 1741 の表面に付着させる方法、第 3 の層間絶縁膜 1741 の表面に大気圧下または減圧下においてプラズマ処理を施し、表面改質を行なう方法などが挙げられる。

【 0156 】

第 3 の層間絶縁膜 1741 に付着させる金属または金属化合物が導電性を有する場合、アンテナの正常な動作が妨げられないように、そのシート抵抗を制御する。具体的には、導電性を有する金属または金属化合物の平均の厚さを、例えば 1 ~ 10 nm となるように制御したり、これらの金属または金属化合物を酸化により部分的に、または全体的に絶縁化したりすれば良い。或いは、密着性を高めたい領域以外は、付着した金属または金属化合物をエッチャリングにより選択的に除去しても良い。また金属または金属化合物を、予め基板の全面に付着させるのではなく、液滴吐出法、印刷法、ゾル - ゲル法などを用いて特定の領域にのみ選択的に付着させても良い。なお金属または金属化合物は、第 3 の層間絶縁膜 1741 の表面において完全に連続した膜状である必要はなく、ある程度分散した状態であっても良い。

【 0157 】

10

20

30

40

50

そして、図13(B)に示すように、アンテナ1742を形成した後、アンテナ1742を覆うように、第3の層間絶縁膜1741上に保護層1745を形成する。保護層1745は、後に剥離層1701をエッティングにより除去する際に、アンテナ1742を保護することができる材料を用いる。例えば、水またはアルコール類に可溶なエポキシ系、アクリレート系、シリコン系の樹脂を全面に塗布することで保護層1745を形成することができる。

【0158】

次いで、図13(C)に示すように、無線ICタグを個別に分離するために溝1746を形成する。溝1746は、剥離層1701が露出する程度であれば良い。溝1746の形成は、ダイシング、スクライビングなどを用いることができる。なお、第1の基板1700上に形成されている無線ICタグを分離する必要がない場合、必ずしも溝1746を形成する必要はない。10

【0159】

次いで、図13(D)に示すように、剥離層1701をエッティングにより除去する。ここでは、エッティングガスとしてフッ化ハロゲンを用い、このガスを溝1746から導入する。例えばC₁F₃(三フッ化塩素)を用い、温度を350とし、流量を300sccmとし、気圧を798パスカル(798Pa)とし、処理時間を3時間とした条件で行う。また、C₁F₃ガスに窒素を混ぜたガスを用いても良い。C₁F₃等のフッ化ハロゲンを用いることで、剥離層1701が選択的にエッティングされ、第1の基板1700をTFT1730~1732から剥離することができる。なおフッ化ハロゲンは、気体であっても液体であってもどちらでも良い。20

【0160】

またエッティング剤を用いることなく、熱処理により、第1の基板1700を剥離してもよい。例えば、剥離層1701としてタンゲステン(W)膜を用い、熱処理を行って、タンゲステン膜上面に酸化タンゲステン(WO_x)膜を形成する。そうすると、酸化タンゲステン膜が形成されることで、剥離層1701と下地絶縁膜1702の間がもろい状態となるため、ガラス基板を容易に剥離することができる。

【0161】

次に図14(A)に示すように、剥離されたTFT1730~1732及びアンテナ1742を、接着剤1750を用いて第2の基板1751に貼り合わせる。接着剤1750は、第2の基板1751と下地絶縁膜1702とを貼り合わせることができる材料を用いる。接着剤1750は、例えば反応硬化型接着剤、熱硬化型接着剤、紫外線硬化型接着剤等の光硬化型接着剤、嫌気型接着剤などの各種硬化型接着剤を用いることができる。30

【0162】

なお、第2の基板1751として、フレキシブルな紙またはプラスチックなどの有機材料を用いることができる。

【0163】

次いで、図14(B)に示すように、保護層1745を除去した後、アンテナ1742を覆うように接着剤1752を第3の層間絶縁膜1741上に塗布し、カバー材1753を貼り合わせる。カバー材1753は第2の基板1751と同様に、フレキシブルな紙またはプラスチックなどの有機材料を用いることができる。接着剤1752の厚さは、例えば10~200μmとすれば良い。40

【0164】

また接着剤1752は、カバー材1753と第3の層間絶縁膜1741及びアンテナ1742とを貼り合わせることができる材料を用いる。接着剤1752は、例えば反応硬化型接着剤、熱硬化型接着剤、紫外線硬化型接着剤等の光硬化型接着剤、嫌気型接着剤などの各種硬化型接着剤を用いることができる。

【0165】

上述した各工程を経て、無線ICタグが完成する。上記作製方法によって、トータルの膜厚が0.3μm以上3μm以下、代表的には2μm程度の飛躍的に薄い集積回路を第250

の基板 1751 とカバー材 1753との間に形成することができる。

【0166】

なお、集積回路の厚さは、半導体素子自体の厚さのみならず、接着剤 1750 と接着剤 1752との間に形成された各種絶縁膜及び層間絶縁膜の厚さを含めるものとする。また、無線 IC タグが有する集積回路の占める平面面積を、5 mm四方 (25 mm^2) 以下、より望ましくは0.3 mm四方 (0.09 mm^2) ~ 4 mm四方 (16 mm^2) 程度とすることができる。

【0167】

なお、本実施の形態では、耐熱性の高い第1の基板 1700 と集積回路の間に剥離層を設け、エッティングにより剥離層を除去することで基板と集積回路とを剥離する方法について示したが、本発明の無線 IC タグの作製方法は、この構成に限定されない。例えば、耐熱性の高い基板と集積回路の間に金属酸化膜を設け、この金属酸化膜を結晶化により脆弱化して集積回路を剥離しても良い。或いは、耐熱性の高い基板と集積回路の間に、水素を含む非晶質半導体膜を用いた剥離層を設け、レーザビームの照射によりこの剥離層を除去することで基板と集積回路とを剥離しても良い。あるいは、集積回路が形成された耐熱性の高い基板を機械的に削除または溶液やガスによるエッティングで除去することで集積回路を基板から切り離しても良い。

【0168】

なお、本実施の形態では、アンテナを集積回路と同じ基板上に形成している例について説明したが、本発明はこの構成に限定されない。別の基板上に形成したアンテナと集積回路とを、後に貼り合わせることで、電気的に接続するようにしても良い。

【0169】

なお、一般的にRFID(無線認証、Radio Frequency Identification)で用いられている電波の周波数は、13.56 MHz、433 MHz、860 ~ 960 MHz、2.45 GHzが多く、これらの周波数の電波を検波できるように無線 IC タグを形成することが、汎用性を高める上で非常に重要である。

【0170】

本実施の形態の無線 IC タグでは、半導体基板を用いて形成されたRFIDタグよりも電波が遮蔽されにくく、電波の遮蔽により信号が減衰するのを防ぐことができるというメリットを有している。よって、半導体基板を用いずに済むので、無線 IC タグのコストを大幅に低くすることができる。

【0171】

なお、本実施の形態では、集積回路を剥離して、可撓性を有する基板に貼り合わせる例について説明したが、本発明はこの構成に限定されない。例えばガラス基板のように、集積回路の作製工程における熱処理に耐えうるような、耐熱温度を有している基板を用いる場合、必ずしも集積回路を剥離する必要はない。

【実施例8】

【0172】

本実施例では本発明により作製した半導体装置を用いた具体例を説明する。

【0173】

図15(A)は表示装置であり、筐体2201、支持台2202、表示部2203、スピーカー部2204、ビデオ入力端子2205などを含む。表示部2203は薄膜トランジスタで画素を構成するものであり、実施例6で説明したEL表示装置を用いても良い。表示部2203を構成する薄膜トランジスタを本発明を用いて作製することにより、欠陥が少なく明るい表示を実現できる。また、表示部2203はメモリ、駆動回路部等を有していてもよく、本発明の半導体装置をメモリ、駆動回路部等に適用してもよい。なお表示部として、液晶の電気光学効果を利用した液晶表示装置、エレクトロルミネセンス等の発光材料を用いた表示装置、電子源素子を用いた表示装置、電場の印加により反射率が変化するコントラスト媒体(電子インクとも呼ばれる)を用いた表示装置など、薄膜トランジスタと各種表示媒体を組み合わせた様々なものが含まれる。利用形態として、コンピュー

10

20

30

40

50

タ用、テレビジョン用、電子書籍等の情報表示機器用、広告表示用若しくは案内表示用など全ての情報表示用機器が含まれる。

【0174】

図15(B)はコンピュータであり、筐体2211、表示部2212、キーボード2213、外部接続ポート2214、ポインティングマウス2215などを含む。表示部2212やコンピュータに付随するCPU、メモリ、駆動回路部などに薄膜トランジスタを有する。本発明を用いて作製された半導体装置を表示部2212やコンピュータに付隨するCPU、メモリ、駆動回路部などに用いることで、性能が向上し、駆動能力を高くすることができます。

【0175】

また、図15(C)は携帯電話機であり、携帯端末の1つの代表例である。この携帯電話機は筐体2221、表示部2222、操作キー2223などを含む。表示部2222や携帯電話機に付隨するCPU、メモリなどの機能回路部に薄膜トランジスタを有する。本発明を用いて作製された半導体装置を、表示部2222や携帯電話機に付隨するCPU、メモリなどの機能回路部に用いることで、性能が向上し、駆動能力を高くすることができます。本発明を用いて作製された半導体装置は、上記の携帯電話を初めとして、PDA(Personal Digital Assistants、情報携帯端末)、デジタルカメラ、小型ゲーム機などの電子機器に用いることができる。

【0176】

また、図15(D)、(E)はデジタルカメラである。なお、図15(E)は、図15(D)の裏側を示す図である。このデジタルカメラは、筐体2231、表示部2232、レンズ2233、操作キー2234、シャッター2235などを有する。表示部2232や表示部2232を制御する駆動回路部などに薄膜トランジスタを有する。本発明により作製された薄膜トランジスタを、表示部2232や表示部2232を制御する駆動回路部、及び他の回路などに用いることで、性能が向上し、駆動能力を高くすることができます。

【0177】

図15(F)はデジタルビデオカメラである。このデジタルビデオカメラは、本体2241、表示部2242、筐体2243、外部接続ポート2244、リモコン受信部2245、受像部2246、バッテリー2247、音声入力部2248、操作キー2249、接眼部2250などを有する。表示部2242や表示部2242を制御する駆動回路部などに薄膜トランジスタを有する。本発明を用いて作製された薄膜トランジスタを、表示部2242や表示部2242を制御する駆動回路部、及び他の回路などに用いることで、性能が向上し、駆動能力を高くすることができます。

【0178】

また、本発明を用いて作製した薄膜トランジスタを薄膜集積回路、または非接触型薄膜集積回路装置(無線ICタグ、RFID(無線認証、Radio Frequency Identification)とも呼ばれる)として用いることもできる。他の実施の形態で示した作製方法を用いることにより作製された薄膜集積回路および非接触型薄膜集積回路は、タグやメモリに用いることができる。

【0179】

図16(A)は、パスポート2301に無線ICタグ2302を貼り付けている状態を示している。また、パスポート2301に無線ICタグ2302を埋め込んでもよい。同様にして、運転免許証、クレジットカード、紙幣、硬貨、証券、商品券、チケット、トラベラーズチェック(T/C)、健康保険証、住民票、戸籍謄本などに無線ICタグを貼り付けたり埋め込むことができる。この場合、本物であることを示す情報をのみを無線ICタグに入力しておき、不正に情報を読み取ったり書き込んだりできないようにアクセス権を設定する。このようにタグとして利用することによって、偽造されたものと区別することが可能になる。

【0180】

このほかに、無線ICタグをメモリとして用いることも可能である。図16(B)は、

10

20

30

40

50

無線ＩＣタグ2311を野菜の包装に貼り付けるラベルに埋め込んだ例を示している。また、包装そのものに無線ＩＣタグを貼り付けたり埋め込んだりしても構わない。無線ＩＣタグ2311には、生産地、生産者、製造年月日、加工方法などの生産段階のプロセスや、商品の流通プロセス、価格、数量、用途、形状、重量、賞味期限、各種認証情報などを記録することが可能になる。無線ＩＣタグ2311からの情報は、無線式のリーダ2312のアンテナ部2313で受信して読み取り、リーダ2312の表示部2314に表示することによって、卸売業者、小売業者、消費者が把握することが容易になる。また、生産者、取引業者、消費者のそれぞれに対してアクセス権を設定することによって、アクセス権を有しない場合は読み込み、書き込み、書き換え、消去ができない仕組みになっている。

10

【0181】

また、無線ＩＣタグは以下のように用いることができる。会計の際に無線ＩＣタグに会計を済ませたことを記入し、出口にチェック手段を設け、会計済みであることを無線ＩＣタグに書き込まれているかをチェックする。会計を済ませていないで店を出ようとするとき、警報が鳴る。この方法によって、会計のし忘れや万引きを予防することができる。

【0182】

さらに、顧客のプライバシー保護を考慮すると、以下に記す方法にすることも可能である。レジで会計をする段階で、(1)無線ＩＣタグに入力されているデータを暗証番号などでロックする、(2)無線ＩＣタグに入力されているデータそのものを暗号化する、(3)無線ＩＣタグに入力されているデータを消去する、(4)無線ＩＣタグに入力されているデータを破壊する、のいずれかを行う。そして、出口にチェック手段を設け、(1)～(4)のいずれかの処理が行われたか、または無線ＩＣタグのデータに何も処理が行われていない状態であるかをチェックすることによって、会計の有無をチェックする。このようにすると、店内では会計の有無を確認することができ、店外では所有者の意志に反して無線ＩＣタグの情報を読み取られることを防止することができる。

20

【0183】

なお、(4)の無線ＩＣタグに入力されているデータを破壊する方法をいくつか挙げることができる。例えば、(a)無線ＩＣタグが有する電子データの少なくとも一部に「0(オフ)」若しくは「1(オン)」、または「0」と「1」の両方を書き込んでデータのみを破壊する方法や、(b)無線ＩＣタグに電流を過剰に流し、無線ＩＣタグが有する半導体素子の配線の一部を物理的に破壊する方法などを用いることができる。

30

【0184】

以上に挙げた無線タグは、従来用いているバーコードより製造コストが高いため、コスト低減を図る必要がある。本発明を用いることによって、半導体膜の均一なレーザアニールが可能であるため、品質が良好でばらつきのない半導体装置を効率良く作製することができ、コストの低減に有効である。さらに、どの無線タグも品質が高く、性能のばらつきがない信頼性の高い無線タグを製作することができる。

【0185】

以上のように、本発明により作製された半導体装置の適用範囲は極めて広く、本発明により作製された半導体装置をあらゆる分野の電子機器に用いることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0186】

- 【図1】実施形態1を説明する図。
- 【図2】実施形態1を説明する図。
- 【図3】実施形態2を説明する図。
- 【図4】実施形態2を説明する図。
- 【図5】実施例1を説明する図。
- 【図6】実施例1を説明する図。
- 【図7】実施例2を説明する図。
- 【図8】実施例3を説明する図。

50

【図9】実施例4を説明する図。

【図10】実施例5を説明する図。

【図11】実施例7を説明する図。

【図12】実施例7を説明する図。

【図13】実施例7を説明する図。

【図14】実施例7を説明する図。

【図15】実施例8を説明する図。

【図16】実施例8を説明する図。

【図17】実施例6を説明する図。

【図18】メガヘルツレーザビームの顕微鏡写真。

10

【符号の説明】

【0187】

11 ビーム

12 分割ビーム

13 分割ビーム

401 第1のレーザビーム

402 第2のレーザビーム

403 被照射体

404 基板

405 パルス先端

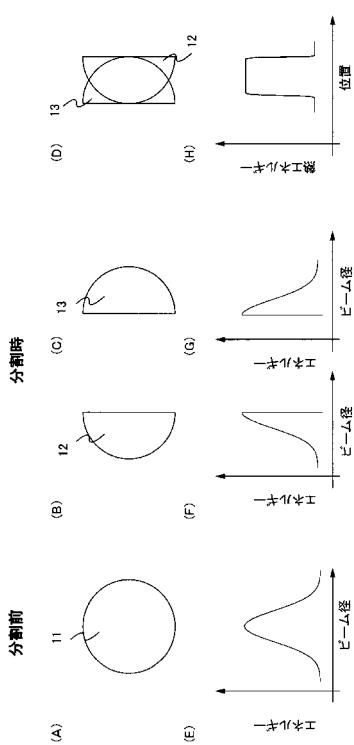
406 パルス終端

407 パルス先端

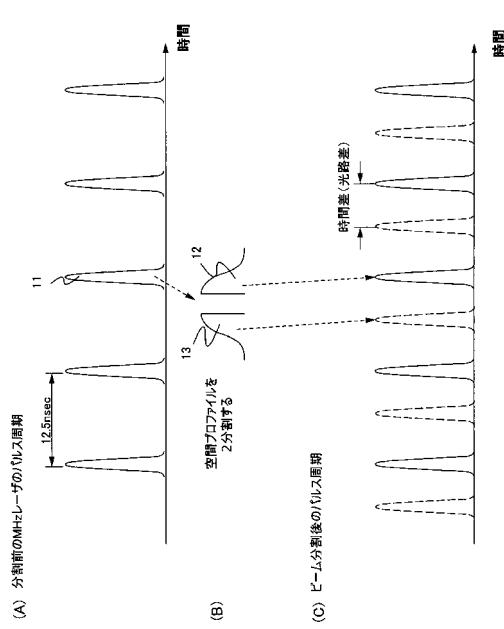
408 パルス終端

20

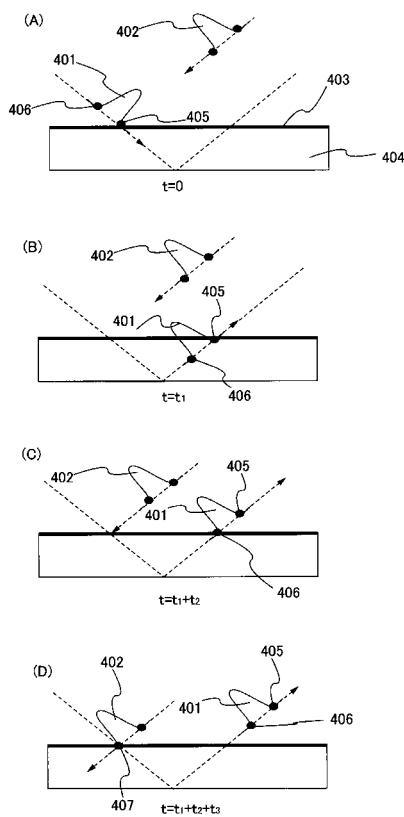
【図1】



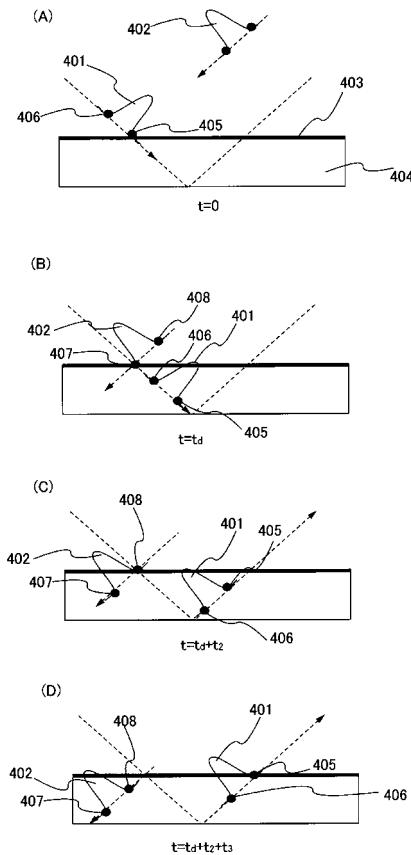
【図2】



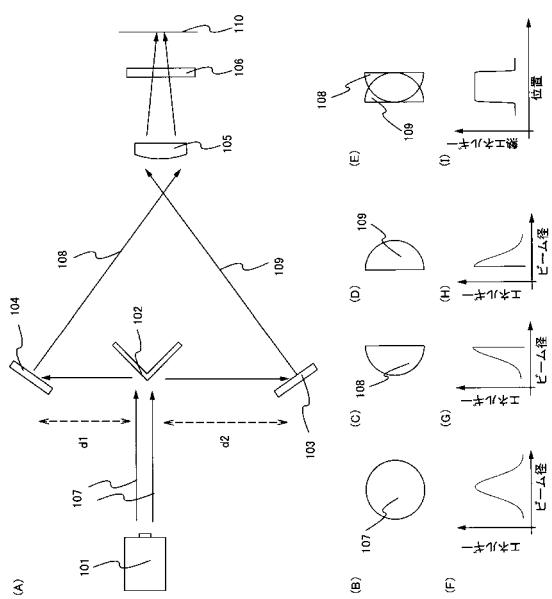
【図3】



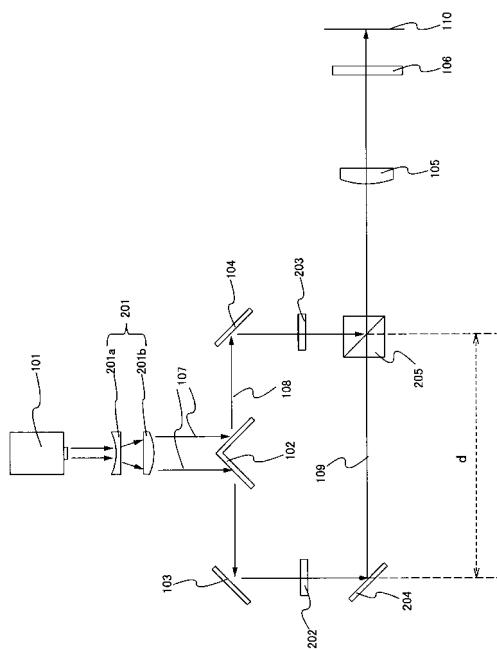
【図4】



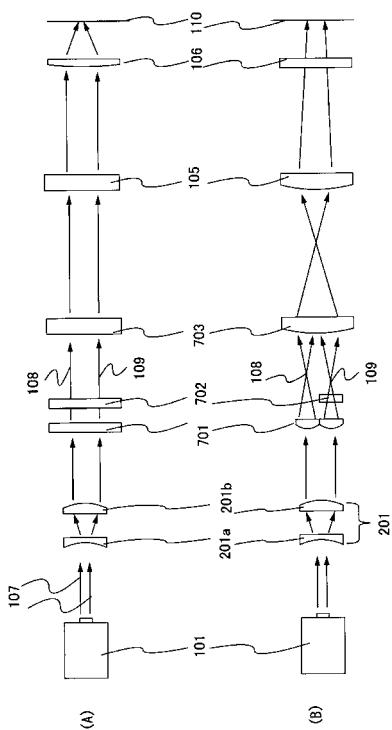
【図5】



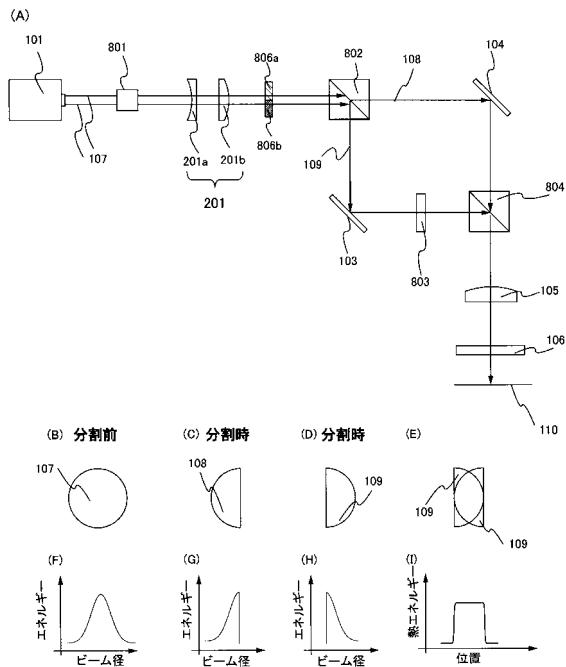
【図6】



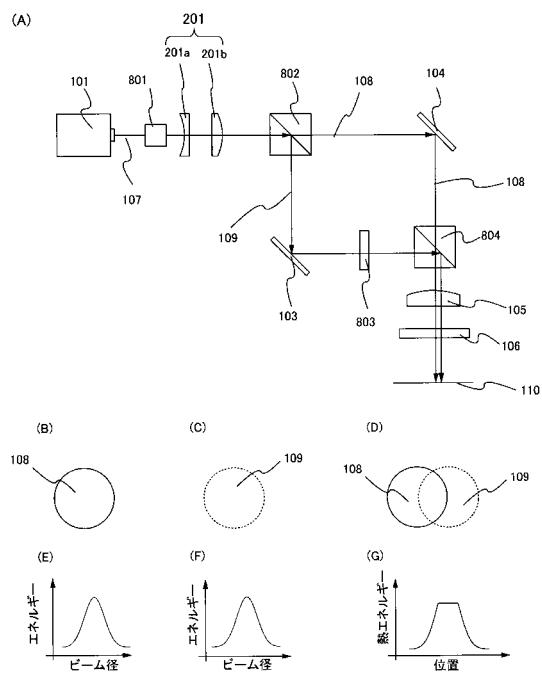
【図7】



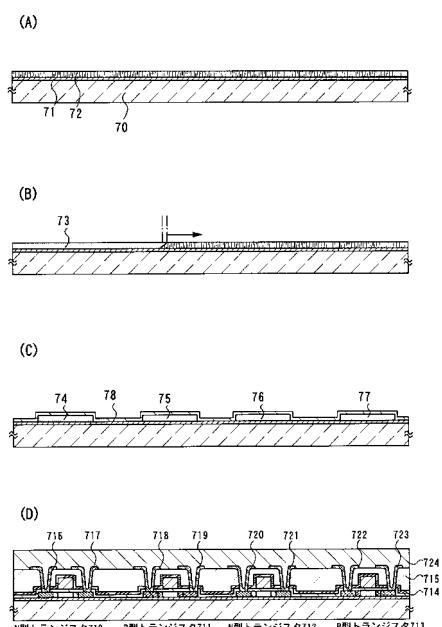
【図8】



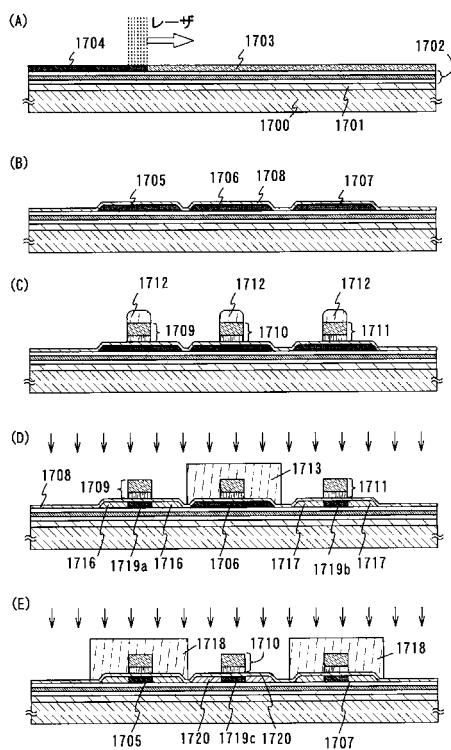
【図9】



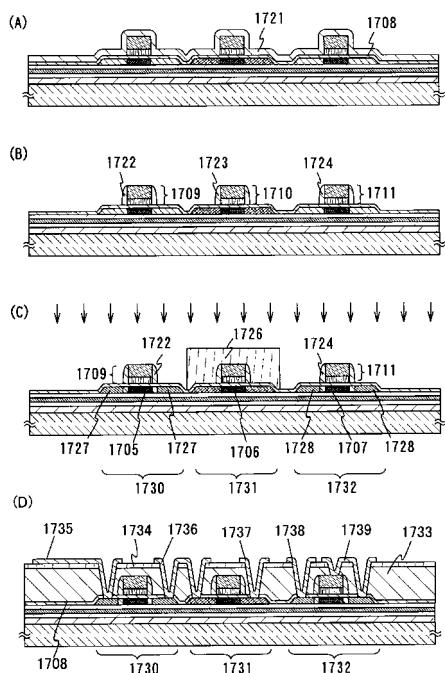
【図10】



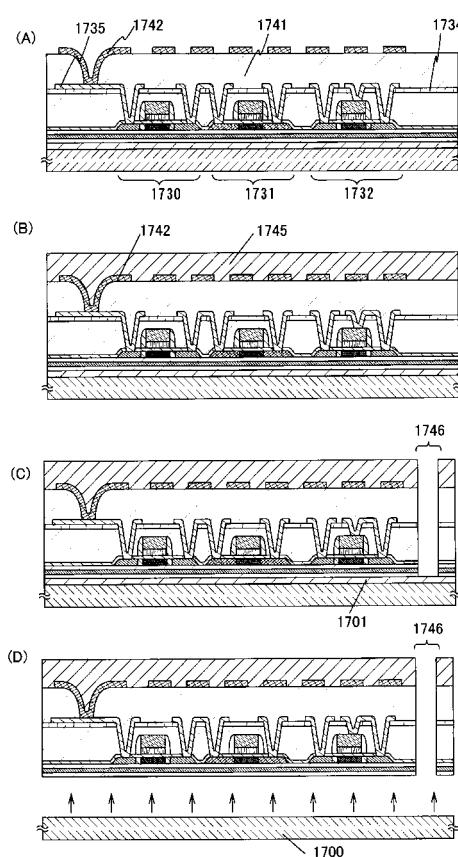
【図11】



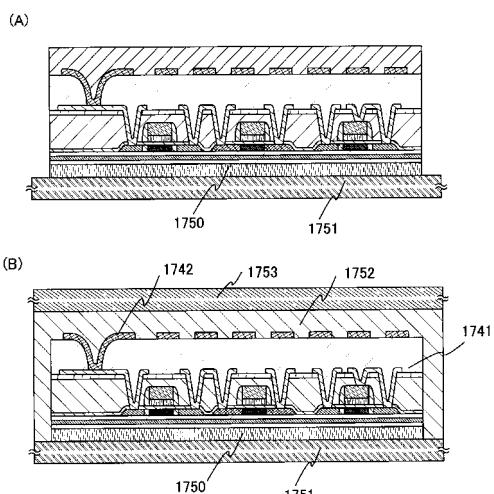
【図12】



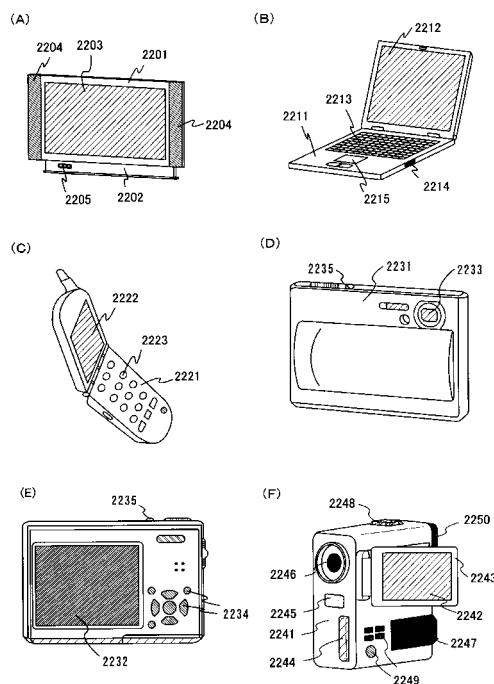
【図13】



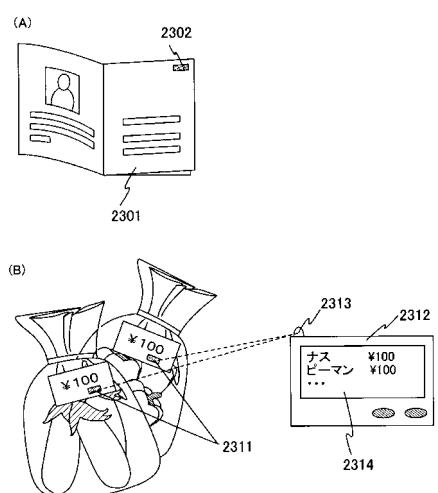
【図14】



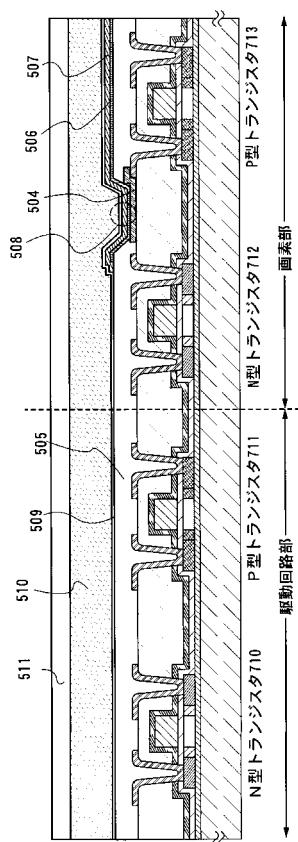
【図15】



【図16】

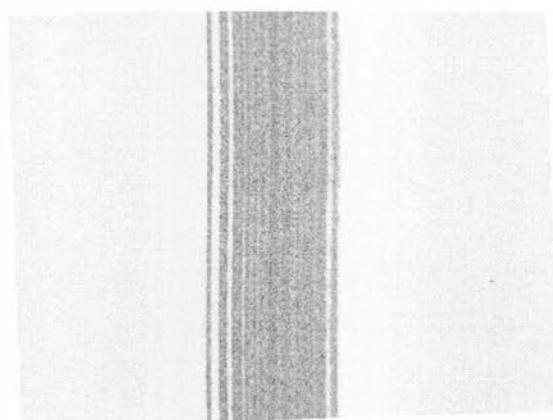


【図17】

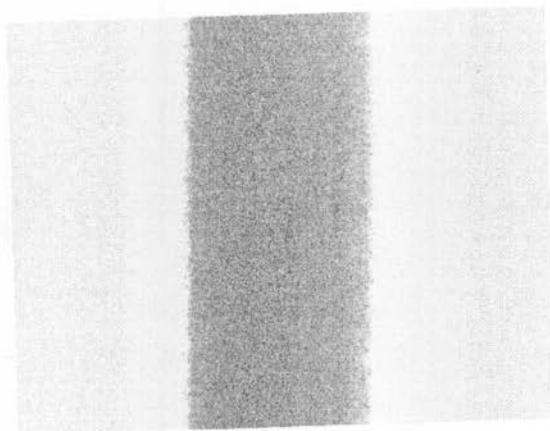


【図 18】

(A)



(B)



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-270510(JP,A)
特開2004-343093(JP,A)
特開2003-287703(JP,A)
特開2003-109912(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/20
H01L 21/268