

明 細 書

発明の名称： 移載方法

技術分野

[0001] 本発明は、基材上に設けられた複数の微小構造体をレーザー照射により他の基材へ移載する移載方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、窒化物半導体の光デバイスが、液晶ディスプレイのバックライトや、サイネージ用ディスプレイとして使われるようになってきている。これらの用途では、一度に大量の光デバイスを使用するため、高速な移載技術が求められている。高速な移載技術としては、一般に、スタンプを用いるスタンプ方式による一括移載が行われており、一度に1000～数万個程度の移載ができるようになってきている。

[0003] 光デバイスは、例えば、サファイア基板上に半導体プロセスにより大量に作製される。マイクロLEDと呼ばれる100 μ m角以下のLEDによって4インチのディスプレイ基板を作製する場合、数百万個のマイクロLEDが必要になる。数十 μ mの微小なデバイスであるマイクロLEDはエピ基板であるサファイア基板から分離して利用される。

[0004] 分離方法としては、サファイア基板上に配列されている光デバイスに、ドナー前駆基板としてのサポート基板を張り合わせ、レーザーリフトオフによりサファイア基板から光デバイスを分離することが一般的である。これにより、多数の光デバイスが表面上に配置されたドナー基板を得ることができる。

[0005] このような方法は、光デバイスに関するものに限られず、微細な半導体デバイスなどの複数の移載対象物を表面上に配置したドナー基板を製造するのにも応用できる。

[0006] また、ドナー基板上の移載対象物は、例えば、製品の回路基板に対応した配置となるようにレセプター基板上に移載され、このレセプター基板から、スタンプ方式により、製品の回路基板などの他の基板に移載され得る。

[0007] 例えば、特許文献1には、レーザ照射を用いて、ドナー基板上の移載対象物をレセプター基板に精度よく移載する方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2000-4478号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 基材上に設けられた複数の微小構造体をレーザ照射により他の基材へ移載する際に、移載後の微小構造体やその周囲に残渣が発生することがある。この残渣は基材と微小構造体とを固定する接着剤等の高分子材料（ポリイミド等の樹脂や、ゴムなど）に由来すると考えられ、移載後に湿式エッチング（クリーニング）などによる除去工程が必要となり、生産性を悪化させるという問題があった。

[0010] 本発明は、上記問題を解決するためになされたものであり、生産性を向上しながら微小構造体に付着した残渣を除去可能な移載方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明は、上記目的を達成するためになされたものであり、基材上に設けられた複数の微小構造体をレーザ照射により他の基材へ移載する移載方法であって、第一の微小構造体に向けて前記基材を通してレーザを照射し、前記第一の微小構造体を前記他の基材へ移載する移載工程、及び、前記移載された第一の微小構造体に向けて少なくとも一回のレーザを照射する追加照射工程を有する移載方法を提供する。

[0012] このような移載方法によれば、移載された微小構造体に対するレーザの追加照射工程を設けることにより、微小構造体の移載中に残渣を除去することが可能となり、生産性を大幅に向上することができる。

[0013] このとき、前記追加照射工程において、前記基材上に残存する第二の微小

構造体に対して一緒にレーザを照射し、前記第二の微小構造体を前記他の基材へ移載することができる。

[0014] これにより、より生産性を向上することができる。

[0015] このとき、前記基材において、前記第一の微小構造体及び前記第二の微小構造体は隣接して配置することができる。

[0016] このような基材上の微小構造体であれば、より効率的に移載を行うことができる。

[0017] このとき、さらに、前記基材上に残存する第三の微小構造体、前記移載された第一の微小構造体及び前記移載された第二の微小構造体に一緒にレーザを照射し、前記第三の微小構造体を前記他の基材へ移載することができる。

[0018] これにより、さらに安定して残渣の除去が可能となるとともに、生産性を向上することができる。

[0019] このとき、前記基材において、前記第二の微小構造体及び前記第三の微小構造体は隣接して配置することができる。

[0020] このような基材上の微小構造体であれば、より効率的に移載を行うことができる。

[0021] このとき、前記基材と前記他の基材は一定の方向に相対的に移動し、停止又は非停止の状態でレーザが照射されることができる。

[0022] これにより、移動を停止させた状態でレーザの照射を行えばレーザ照射位置や微小構造体の移載位置の精度がより高くなり、非停止の状態でレーザの照射を行えばスループットをより向上することができる。

[0023] このとき、前記照射されるレーザの形状は、長方形形状であり、前記移動は前記長方形の長辺の方向とすることができる。

[0024] これにより、移載及び追加照射処理の自由度を高くすることができる。

[0025] このとき、照射面における前記長方形形状のレーザの長辺の長さは、前記微小構造体の長辺方向の長さの3倍以上とすることができる。また、照射面における前記長方形形状のレーザの長辺の長さは、前記微小構造体の長辺方向の長さの5倍以上とすることができる。

- [0026] これにより、移載及び追加照射処理の自由度をさらに高くすることができる。
- [0027] このとき、前記長方形形状のレーザが複数個あり、それらが長方形の短辺方向に離間して配列することができる。
- [0028] これにより、より生産性の高い処理を行うことができる。
- [0029] このとき、前記照射されるレーザの形状は、照射面において前記微小構造体の大きさと略同一の形状のレーザが複数個あり、前記複数個のレーザが前記移動方向に離間して配列することができる。
- [0030] これにより、より精度の高い処理を行うことができる。
- [0031] このとき、前記複数個のレーザと離間して、前記移動方向に垂直な方向に更に複数個のレーザが設けられ、マトリクス状に配列されることができる。
- [0032] これにより、より生産性の高い処理を行うことができる。
- [0033] このとき、前記複数の微小構造体は、高分子材料を介して前記基材上に設けることができる。
- [0034] 特にこのような場合に、残渣の除去を安定して行うことができる。
- [0035] このとき、前記移載工程において、前記基材上に設けられた微小構造体は、一回のレーザ照射により前記他の基材へ移載することができる。
- [0036] これにより、より効率的かつ安定して微小構造体を他の基材へ移載することができる。
- [0037] このとき、前記追加照射工程において、前記移載された微小構造体に複数回のレーザを照射することができる。
- [0038] これにより、効果的に残渣を除去することができる。
- [0039] このとき、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも小さいエネルギー密度のレーザを複数回照射することができる。
- [0040] これにより、より効果的に残渣からの発塵を抑制することができる。
- [0041] このとき、照射された前記複数回のレーザのエネルギー密度の合計は、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも

大きくすることができる。

[0042] これにより、さらに効果的に残渣を除去することができる。

[0043] このとき、前記追加照射工程において移載された微小構造体に照射されるレーザーのエネルギー密度は、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザーのエネルギー密度よりも小さくすることができる。

[0044] これにより、より効果的に残渣からの発塵を抑制することができる。

[0045] このとき、前記基材上に設けられた複数の微小構造体と前記他の基材は離間した状態とすることができる。

[0046] これにより、残渣からの発塵をより効果的に抑制することができる。

[0047] このとき、前記微小構造体に照射されるレーザーは、フォトマスクの開口部を通過して成形されており、前記追加照射工程において前記移載された微小構造体に照射されるレーザーが通過する開口部の透過率は、前記移載工程において前記基材上に設けられた微小構造体に照射されるレーザーが通過する開口部の透過率よりも小さくすることができる。

[0048] これにより、微小構造体に照射されるレーザーのエネルギー密度の調整を容易に行うことができる。

[0049] このとき、前記移載工程において、前記基材と前記他の基材とを接触させた状態でレーザーを照射し、前記追加照射工程において、前記基材と前記他の基材とを離隔させて、前記基材と前記他の基材との間に空間を形成した状態でレーザーを照射することができる。

[0050] これにより、生産性を大幅に向上しつつ、より精度高く移載することができる。

[0051] このとき、前記追加照射工程において、前記基材と前記他の基材との間の空間に酸素ガスを供給することができる。

[0052] これにより、残渣除去時の発塵（デブリスの発生）を効果的に減らすことができる。

発明の効果

[0053] 以上のように、本発明の移載方法によれば、移載された微小構造体に対す

るレーザの追加照射工程を設けることにより、微小構造体の移載中に残渣を除去することが可能となり、生産性を大幅に向上することが可能となる。

図面の簡単な説明

- [0054] [図1]本発明の移載方法の一例を説明する模式的図面である。
- [図2]本発明の移載方法の他の例を説明する模式的図面である。
- [図3]本発明の移載方法のさらに他の例を説明する模式的図面である。
- [図4]微小構造体を移載する前の基材と他の基材の状態を示す模式的図面である。
- [図5]第1の実施形態を説明する模式的図面である。
- [図6]図5に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図7]図6に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図8]図7に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図9]図8に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図10]図9に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図11]微小構造体を移載した後の基材と他の基材の状態を示す模式的図面である。
- [図12]第2の実施形態を説明する模式的図面である。
- [図13]図12に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図14]図13に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図15]図14に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図16]図15に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図17]図16に続く工程を説明する模式的図面である。
- [図18]移載装置の一例を示す模式的図面である。
- [図19]フォトリソマスクの一例を示す模式的図面である。
- [図20]本発明の移載方法の他の態様を説明する模式的図面である。

発明を実施するための形態

- [0055] 以下、本発明を詳細に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0056] 上述のように、生産性を向上しながら微小構造体に付着した残渣を除去可能な移載方法が求められていた。

[0057] 本発明者らは、上記課題について鋭意検討を重ねた結果、基材上に設けられた複数の微小構造体をレーザ照射により他の基材へ移載する移載方法であって、第一の微小構造体に向けて前記基材を通してレーザを照射し、前記第一の微小構造体を前記他の基材へ移載する移載工程、及び、前記移載された第一の微小構造体に向けて少なくとも一回のレーザを照射する追加照射工程を有する移載方法により、移載された微小構造体に対するレーザの追加照射工程を設けることにより、微小構造体の移載中に残渣を除去することが可能となり、生産性を大幅に向上することが可能となることを見出し、本発明を完成した。

[0058] 以下、本発明を図面を参照して説明する。

[0059] [移載方法]

本発明は、基材上に設けられた複数の微小構造体をレーザ照射により他の基材へ移載する移載方法である。図1に本発明の移載方法の一例を示す。図1に示すように、基材1には第一の微小構造体20A、第二の微小構造体21A、第三の微小構造体22Aが設けられている。第一の微小構造体20Aに向けて基材1を通してレーザLを照射し、第一の微小構造体20Aを他の基材2へ移載する移載工程（図1（A）～（B））、及び、移載された第一の微小構造体20Bに向けて少なくとも一回のレーザLを照射する追加照射工程（図1（C））を有する。微小構造体は基材1に接着剤10等の高分子材料により固定されており、例えば、レーザ照射により高分子材料をレーザアブレーションすることにより移載が可能である。移載工程を行った後に移載された第一の微小構造体20Bやその周囲に残渣11が発生することがある。この残渣は基材と微小構造体を固定する接着剤等の高分子材料（ポリイミド等の樹脂や、ゴムなど）に由来すると考えられる。移載工程の後で、移載された第一の微小構造体20Bに対してレーザLを照射する追加照射工程を行い、微小構造体に付着した高分子材料などに由来する残渣11を除去す

ることができる。この残渣の除去は、例えば、レーザアブレーションする、又は、レーザアブレーションが起こるよりも弱いエネルギー密度のレーザを照射することにより実現可能である。このような移載工程及び追加照射工程は移載作業中に行うことができるため、移載作業の生産性を大幅に向上することが可能となる。図1の例では、基材1と他の基材2とを相対的に平行移動させることで、他の基材2上への第一の微小構造体の移載位置を調整している。なお、図1において、微小構造体のレーザ照射面の全面に厚みを有するように残渣11を描いているが、必ずしもこのような形状で存在するわけではなく、線状や、斑点状、点状のような形状でレーザ照射面の一部分に存在することもある。また、図1において、レーザLはレーザの照射領域の大きさや照射方向を模式的に表しているにすぎず、例えば、図1(A)において、レーザが微小構造体20Aを透過していることを必ずしも意味しているわけではない。図2及び図3においても同様である。

[0060] なお、追加照射工程におけるレーザLの照射回数の上限は特に限定されないが、例えば100回以下、50回以下、30回以下、10回以下、5回以下とすることができる。

[0061] 図2は、複数の微小構造体に対して一緒にレーザを照射する態様を示している。図2に示す例では、基材1上に残存する未移載の第二の微小構造体21Aに対して、既に移載された第一の微小構造体20Bと一緒にレーザを照射することで第二の微小構造体21Aを他の基材2へ移載する移載工程と、第一の微小構造体20Bへの追加照射工程を並行して行う。言い換えると、1回のレーザ照射で、基材1上に残存する第二の微小構造体21Aと既に移載された第一の微小構造体20Bとの両方に対してレーザ照射を行う。別の側面では、第二の微小構造体21Aにとっての移載工程を、さらに第一の微小構造体20Bにとっての追加照射工程とすることができる。レーザを照射する側から見れば、同時のレーザ照射処理にて移載工程と追加照射工程が行われるということもできる。これにより、より効率よく微小構造体の移載を行うことができる。図2の例でも、基材1と他の基材2とを相対的に平行移

動させることで、他の基材 2 上への第一の微小構造体 2 0 B の移載位置を調整している。例えば、照射するレーザに対して基材 1 と他の基材 2 を同方向へ平行移動させるとともに、他の基材 2 の移動量を基材 1 の移動量よりも大きくすることで、他の基材 2 上に移載された微小構造体の間隔を拡げることができる。なお、前述したように、図 2 においても、レーザ L はレーザの照射領域の大きさや照射方向を模式的に表しているにすぎず、例えば、図 2 において、レーザが微小構造体 2 0 B の表面の高さで止まっていることを必ずしも意味しているわけではない。図 3 においても同様である。

[0062] なお、基材 1 において、第一の微小構造体 2 0 A 及び第二の微小構造体 2 1 A は隣接して配置されていることが好ましい。このような基材上の微小構造体であれば、より効率的に移載と残渣 1 1 の除去を行うことができる

[0063] 図 3 は、複数の微小構造体に対して一緒にレーザを照射する別の態様を示している。図 3 に示す例では、基材 1 上に残存する未移載の第三の微小構造体 2 2 A に対して、既に他の基材 2 に移載された第一の微小構造体 2 0 B 及び第二の微小構造体 2 1 B と一緒にレーザを照射することで、第三の微小構造体 2 2 A を他の基材 2 へ移載する移載工程と、第一の微小構造体 2 0 B 及び第二の微小構造体 2 1 B への追加照射工程とを並行して行う。これにより、さらに安定して残渣 1 1 の除去が可能となるとともに、より効率よく微小構造体の移載を行うことができ、より生産性を向上することができる。図 3 の例でも、基材 1 と他の基材 2 とを相対的に平行移動させることで、他の基材 2 上への第一、第二の微小構造体の移載位置を調整している。

[0064] なお、基材 1 において、第二の微小構造体 2 1 A 及び第三の微小構造体 2 2 A は隣接して配置されていることが好ましい。このような基材上の微小構造体であれば、より効率的に移載と残渣の除去とを行うことができる

[0065] 図 1 ～ 3 に示す形態のように、基材 1 と他の基材 2 は一定の方向に相対的に移動させることが好ましい。また、レーザ L の照射は、基材 1 と他の基材 2 の相対的な移動を停止させた状態で行っても良いし、非停止の状態で移動させつつ行っても良い。移動を停止させた状態でレーザ L の照射を行えばレ

ーザ照射位置や微小構造体の移載位置の精度がより高くなり、非停止の状態
でレーザーの照射を行えばスループットをより向上することができる。

[0066] (微小構造体)

本発明の移載方法で移載する微小構造体は特に限定されない。例えば、マイクロLEDなどの半導体素子が挙げられる。複数の微小構造体は、高分子材料などの接着剤を介して基材上に設けられているものであってもよい。このような場合に、特に、本発明の移載方法の追加照射工程による残渣の除去が有効である。接着剤は、レーザーアブレーションされても発塵が少ないものを選択することが好ましい。また、残渣の除去を容易にするために、接着剤の厚みは、できるだけ薄くすることが好ましく、その厚みは $1\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $0.8\mu\text{m}$ 以下であることが特に好ましく、 $0.6\mu\text{m}$ であることが非常に好ましい。接着剤の層を均一に設ける観点及び接着力の観点からは、好ましい下限は $0.2\mu\text{m}$ 程度である。

[0067] (基材)

基材1は微小構造体が設けうるものであれば特に限定されない。微小構造体が半導体素子の場合、例えば、素子を形成した基板からドナー基板、レセプター基板を経て製品の回路基板へと移載する場合の、素子を形成した基板、ドナー基板、レセプター基板であってもよい。具体的には、照射するレーザーを透過することが好ましく、合成石英などのガラス基板であることがより好ましい。

[0068] (他の基材)

他の基材2も、微小構造体が移載できるものであれば特に限定されない。微小構造体が半導体素子の場合、例えば、素子を形成した基板からドナー基板、レセプター基板を経て製品の回路基板へと移載する場合の、ドナー基板、レセプター基板、回路基板であってもよい。他の基材は、微小構造体を設ける位置に、衝撃吸収及び／又は接着のための層(PDMS、はんだペースト等)を備えたものであることが好ましい。他の基材が回路基板であり、フエイスダウン方式で微小構造体を回路基板に電氣的に接続する場合、衝撃吸

収及び／又は接着のための層は、導電材料を含む層であることが好ましい。この導電材料としては、例えば、はんだペースト等の等方導電材料、異方導電接着剤等の異方導電材料などが挙げられる。また、フェイスアップ方式であっても電氣的な接続が求められる場合は上記導電材料を使用してもよい。

[0069] (レーザ)

レーザLは、特に限定されないが、例えばエキシマレーザとすることができる。微小構造体に対して照射されるレーザLの形状(レーザLの照射領域の形状)は、微小構造体を移載でき、かつ、微小構造体の残渣を除去可能であれば特に限定されない。次に説明するレーザLの形状(レーザLの照射領域の形状)は、例えばフォトマスクを通すことで適宜形成することができる。エキシマレーザとしては、例えば、ArFエキシマレーザ(波長193nm)、KrFエキシマレーザ(波長248nm)、XeClエキシマレーザ(波長308nm)、XeFエキシマレーザ(波長353nm)等が挙げられ、使用実績や入手容易性の観点からはKrFエキシマレーザであることが好ましい。

[0070] 照射されるレーザLの形状(レーザLの照射領域の形状)は、特に限定されない。例えば、微小構造体に対して照射されるレーザLの形状(レーザLの照射領域の形状)を長方形形状とすることができる。この場合の長方形の長辺方向は、基材1と他の基材2の相対的な移動方向であることが好ましい。また、長方形形状のレーザが複数個あり、それらが長方形の短辺方向に離間して配列していることが好ましい(図5～10参照)。このようなレーザ照射領域とすれば、他の基材2上の微小構造体の配置間隔(移載ピッチ)の制限を受けにくいため、移載及び追加照射処理の自由度が向上する。1回のレーザ照射で複数の微小構造体に対して移載及び追加照射処理を行うことができる、生産性がより向上する。また、長方形形状とすることで他の基材における微小構造体と微小構造体の間にもレーザを照射することができ、そのような場所に存在する残渣も除去しやすい。このようなレーザLの形状の場合については、後述の第1の実施形態において図4～11を参照しながら

詳しく説明する。

[0071] さらに、レーザLの形状の長方形形状の長辺方向の長さは、微小構造体の長辺方向の長さの3倍以上とすることがより好ましく、5倍以上とすることがさらに好ましい。移載及び追加照射処理の自由度をさらに高くすることができる。レーザLの形状の長方形形状の長辺方向の長さの、微小構造体の長辺方向の長さに対する比率の上限値は特に限定されないが、例えば100倍以下、50倍以下、30倍以下、10倍以下とすることができる。

[0072] 微小構造体に対して照射されるレーザLの形状（レーザLの照射領域の形状）は、照射面において微小構造体の大きさと略同一の形状のレーザが複数個あるものとしてもよい。この場合のレーザ照射領域の配列は、他の基材2上に配置する微小構造体の配置ピッチのN倍（N：整数）となるようなものとすることが好ましい。複数個のレーザが基材1と他の基材2の相対的な移動方向に離間している。また、複数個のレーザと離間して、基材1と他の基材2の相対的な移動方向に垂直な方向に更に複数個のレーザが設けられ、マトリクス状に配列されていることが好ましい（図12～17参照）。このようなレーザ照射領域とすれば、1回のレーザ照射で複数の微小構造体に対して移載及び追加照射処理を行うことができるため、生産性がより向上する。このようなレーザLの形状の場合については、後述の第2の実施形態において図12～17を参照しながら詳しく説明する。

[0073] 移載工程において、基材1上に設けられた微小構造体は、一回のレーザ照射により他の基材2へ移載されることが好ましい。そのため、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度は、一回の照射で基材と微小構造体を固定する高分子材料を十分にレーザアブレーションするエネルギー密度であることが好ましい。ここで、レーザアブレーションとは、一般的に、固体又は液体の表面にレーザ光を照射した時に、プラズマの発生とともに表面の構成物質が爆発的に放出される現象として理解されている。なお、安定して移載が実現できるのであれば、必ずしも十分にレーザアブレーションするエネルギー密度でなくてもよい。

- [0074] 追加照射工程において、移載された微小構造体に複数回のレーザを照射することが好ましい。複数回のレーザ照射により確実に残渣を除去することが可能となるとともに、発塵もより効果的に抑制できる。この場合、追加照射工程では、移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも小さいエネルギー密度のレーザを複数回照射することが好ましい。移載する場合には相対的に高いエネルギー密度とすることで移載（転写）位置精度を高めることができ、追加照射する場合には移載のための照射よりも低いエネルギー密度とすることで残渣除去時の発塵を抑制する効果が期待できる。さらに、追加照射工程で照射された複数回のレーザのエネルギー密度の合計は、移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも大きくてもよい。より効果的に残渣を除去することができる。
- [0075] また、追加照射工程において移載された微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度は特に限定されない。追加照射工程において一回で照射されるレーザのエネルギー密度は、移載工程と同じでもよいが、移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも小さいことが好ましい。例えば、移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度を $700 \sim 2000 \text{ mJ/cm}^2$ 程度とした場合に、追加照射工程において照射されるレーザのエネルギー密度を $30 \sim 300 \text{ mJ/cm}^2$ 程度とすると、より効果的に残渣除去時のスス状物の発塵を抑制することができ、他の基材への過度なレーザ照射を抑制することができる。ここで、追加照射工程における一回のレーザ照射のエネルギー密度は、高分子材料が十分にレーザアブレーションするエネルギー密度よりも小さいことが好ましい。高分子材料をレーザアブレーションした場合、高分子材料の一部がスス状の炭素系デブリスとなり残存することがあり、それを抑制するために一回に照射されるレーザのエネルギー密度を小さくすることが好ましい。この追加照射工程における一回のレーザ照射のエネルギー密度は、高分子材料の種類や照射するレーザの波長により変動し得るものの、高分子材料にエネルギー密度を変えてレーザを照射した時の表面粗さ計により観察される高分子材料表面の粗

さ変化をもとに選択することができる。

[0076] 基材 1 上に設けられた複数の微小構造体と他の基材 2 は離間した状態であることが好ましい。このような状態であれば、基材 1 上に設けられた複数の微小構造体の周囲に空気が存在するため、基材 1 上に設けられた複数の微小構造体と他の基材 2 が接触した状態で行う移載・追加照射による残渣の除去の場合に比べて、高分子材料や、その残渣にレーザが照射された際にスス状の炭素系デブリスではなく炭酸ガスになりやすくなり、発塵をより効果的に抑制できる。

[0077] 微小構造体に照射されるレーザは、フォトマスクの開口部を通過して成形されることが好ましい。図 19 にフォトマスクの一例を示す。図 19 (A) は長方形形状のレーザ、(B) は微小構造体の形状に合わせたレーザを成形するためのフォトマスクの例である。また、追加照射工程において、他の基材 2 上に移載された微小構造体に照射されるレーザが通過する開口部の透過率を、移載工程において基材 1 上に設けられた微小構造体に照射されるレーザが通過する開口部の透過率よりも小さいものとする事で、上述のようなレーザ L のエネルギー密度の調整を容易に行うことができる。例えば、フォトマスクの開口部に遮蔽膜として半透過膜を用いて透過率を変えてもよい。移載工程用の照射部では透過率を大きくして転写位置精度を高め、追加照射工程用の照射部では透過率を小さくして残渣除去時の発塵を抑えることが好ましい。

[0078] 図 20 に本発明の移載方法の他の態様を示す。基材 1 と基材 2 をそれぞれ基板ステージに装着し、図 20 (A) に示すように、第一の微小構造体 20 A、第二の微小構造体 21 A、第三の微小構造体 22 A が設けられた基材 1 と基材 2 とを接触させた状態で、第一の微小構造体 20 A に向けて基材 1 を通してレーザ L を照射し、第一の微小構造体 20 A を他の基材 2 へ移載する (図 20 (B))。その後、基材 1 と基材 2 とを離隔して、2 枚の基材の間に空間を形成する。そして、2 枚の基材の間隔を空けた状態で、移載された第一の微小構造体 20 B に向けて少なくとも一回のレーザ L を照射する追加

照射工程（図20（C））を行う。このような工程（図20（A）～（C））を繰り返し行う。これにより、生産性を大幅に向上しつつ、より精度高く移載することができる。

[0079] また、図20（C）に示すように追加照射工程において、少なくとも基材1と基材2との間の空間に、酸素ガス供給手段50などを用いて酸素含有ガスを供給することで、大気よりも酸素濃度の高い環境を形成することができ、その結果、残渣除去時の発塵（デブリスの発生）を効果的に減らすことができる。

[0080] なお、酸素含有ガスの供給は、少なくとも基材1と基材2との間の空間が大気よりも酸素濃度の高い環境となればよい。基材1及び基材2を含む空間全体が高酸素濃度となってもよいし、基材1と基材2との間の空間のみが高酸素濃度となってもよい。また、酸素含有ガスとして、酸素ガスのみを用いてもよいし、希釈酸素ガスを用いてもよい。さらに、図20においてレーザー照射の態様は図1と同様としているが、図2～10、12～17に記載のレーザー照射の態様を適用できることは言うまでもない。

[0081] 上述のようにして微小構造体の移載を繰り返すことで、大面積の微小構造体受け基板（基材2）に、多量の微小構造体を必要なピッチで転写できる。例えば、微小構造体を半導体素子とし、素子供給基板（基材1）が直径4インチ（100mm）、素子ピッチが6 μ m、素子受け基板（基材2）が300mm×350mm、画素ピッチが90 μ mの場合、1枚の素子供給基板からおよそ15枚の素子受け基板を作製することができる。

[0082] 本発明の移載方法は、LLO（Laser Lift Off）法やLIFT（Laser Induced Forward Transfer）法に適用することができる。

[0083] [移載装置]

本発明の移載方法を実施するために用いる移載装置は、移載対象物にレーザーを照射して移載対象物を基材から他の基材に移載できるものであれば特に限定されない。例えば、図18に記載されるような移載装置を使用すること

ができる。図18に例示する移載装置100は、レーザ発振器110と、成形光学系120と、フォトマスク130と、折り返しミラー140と、縮小投影レンズ150と、ステージ160と、アライメントカメラ170と、コントローラ180等を具備している。

[0084] ステージ160は、開口部161aを有し且つ基材1を支持する上ステージ161と、他の基材2を支持する下ステージ162とから構成されている。ステージ160は、基材1及び他の基材2を互いに対向させて支持するように構成されており、それぞれ個別に移動することができる。

[0085] レーザ発振器110は、例えば、レーザLをパルス状に発振するように構成されている。移載装置100では、レーザ発振器110から発振されたレーザLが、成形光学系120を通して成形され、さらにフォトマスク130を通して成形され、折り返しミラー140で進行方向が変えられ、さらに縮小投影レンズ150を通り、このレーザ20が上ステージ161の開口部161aを通過して、基材1に到達する光路を形成するように、各部材が配置されている。すなわち、フォトマスク130は、レーザ発振器110とステージ160との光路間に配置されている。

[0086] そして、図18に示す移載装置100では、レーザ発振器110、フォトマスク130及びステージ160（上ステージ161及び下ステージ162）が、レーザ発振器110からのレーザLを複数の微小構造体3に一括で照射することができるように構成されている。コントローラ180は、後述のような本発明の移載方法を行うように、移載装置100を制御することができるように構成される。なお、その他の移載装置の詳細な構成や操作方法などは、例えば、国際公開第2019/244362号を参考に実施可能である。

[0087] 以上の説明を踏まえて、本発明の移載方法について図4～17を用いてより具体的に説明する。図4～17のそれぞれにおいて、（A）はレーザ照射方向（基材裏面側）から見た図、（B）はレーザ照射方向に対し側方から見た図を示す。図4及び図11は以下で説明する第1の実施形態、第2の実施

形態に共通し、図4は第一の微小構造体3Aの移載前の基材1及び他の基材2を、図11は複数の微小構造体(3B~8B)移載後の基材1及び他の基材2を示す。図4に示すように、移載前の基材1上には互いに隣接して複数の微小構造体が設けられている。基材1の複数の微小構造体が設けられた面と、微小構造体を移載する他の基材2の面とを対向させて、基材1の微小構造体が設けられていない面の側からレーザーLを照射して微小構造体の移載を行う。そして、移載後には図11に示すように、他の基材2上の所望の位置に複数の微小構造体(3B~8B)が移載される。

[0088] [第1の実施形態]

本発明の第1の実施形態の移載方法を図5~10に示す。第1の実施形態は、基材1上に設けられた複数の微小構造体を他の基材2に移載する場合に、微小構造体に対して照射されるレーザーLの形状(レーザーLの照射領域の形状)を長方形形状とし、かつ、長方形の短辺方向に離間した複数列のレーザー照射を行う例である。ここで、複数列のレーザーは、例えば、基材1上の微小構造体の配置ピッチのN倍(N:整数)のピッチで離間させることができる。本実施形態では3倍の例を示す。

[0089] まず、図5に示すように、基材1上の右から1列目の微小構造体のみにレーザーを照射して、他の基材2上に微小構造体3B(図5(B)の奥行方向に複数ある)を移載する。この時点では微小構造体3Bには残渣(図示せず)が付着していることがある。なお、前述したように、図5においても、レーザーLはレーザーの照射領域の大きさや照射方向を模式的に表しているにすぎず、例えば、図5において、レーザーが基材1の裏面(微小構造体が設けられていない面)の高さで止まっていることを必ずしも意味しているわけではない。図6~図10、及び、図12~図17においても同様である。

[0090] 次に、図6に示すように基材1と他の基材2とを平行移動し、基材1上の右から2列目の微小構造体4A(図5参照)にレーザーを照射して、他の基材2上に微小構造体4Bを移載する。このとき既に他の基材2上に移載された微小構造体3Bにもレーザーが照射され、微小構造体3Bの残渣が除去される

。なお、この照射で微小構造体 3 B の残渣が残っていてもよく、残った残渣はさらに後続のレーザ追加照射で除去できる。本実施形態では、他の基材 2 の移動速度を基材 1 の移動速度の 2 倍にすることで、他の基材 2 上に移載された微小構造体の間隔を拡げている。

[0091] 次に、図 7 に示すように基材 1 と他の基材 2 とを平行移動し、基材 1 上の右から 3 列目の微小構造体 5 A（図 6 参照）にレーザを照射して、他の基材 2 上に微小構造体 5 B を移載する。このとき既に他の基材 2 上に移載された微小構造体 3 B、4 B にもレーザが照射され、微小構造体 3 B、4 B の残渣が除去される。このような基材 1、他の基材 2 の平行移動とレーザ照射をさらに繰り返す（図 8～10）ことにより、基材 1 上に設けられた微小構造体 6 A、7 A、8 A は他の基材 2 上に移載され、微小構造体 3 B、4 B、5 B、6 B、7 B、8 B が移載された他の基材 2 を得ることができなる。また、他の基材 2 上に移載された微小構造体 3 B、4 B、5 B、6 B、7 B、8 B は、移載後に少なくとも 1 回のレーザの追加照射を受けているため、残渣が除去又は低減される。

[0092] [第 2 の実施形態]

本発明の第 2 の実施形態の移載方法を図 12～17 に示す。第 2 の実施形態は、基材 1 上に設けられた複数の微小構造体を他の基材 2 に移載する場合に、微小構造体に対して照射されるレーザ L の形状（レーザ L の照射領域の形状）を微小構造体の大きさと略同一の形状とし、それらを複数マトリクス状に配置させることで移載前後の微小構造体に対応する複数箇所に照射する例である。

[0093] まず、図 12 に示すように、基材 1 上の右から 1 列目の微小構造体のみにレーザを照射して、他の基材 2 上に微小構造体 3 B を移載する（図 12（B）の奥行方向に複数ある）。この時点では微小構造体 3 B には残渣（図示せず）が付着していることがある。

[0094] 次に、図 13 に示すように基材 1 と他の基材 2 とを平行移動し、基材 1 上の右から 2 列目の微小構造体 4 A（図 12 参照）にレーザを照射して、他の

基材 2 上に微小構造体 4 B を移載する。このとき既に他の基材 2 上に移載された微小構造体 3 B にも、微小構造体と略同形状のレーザが照射され、微小構造体 3 B の残渣が除去される。なお、微小構造体 3 B はさらに後続のレーザ照射も受ける場合には、微小構造体 3 B の残渣は残っていてもよい。

[0095] 次に、図 1 4 に示すように基材 1 と他の基材 2 とを平行移動し、基材 1 上の右から 3 列目の微小構造体 5 A（図 1 3 参照）にレーザを照射して、他の基材 2 上に微小構造体 5 B を移載する。このとき既に他の基材 2 上に移載された微小構造体 3 B、4 B にもレーザが照射され、微小構造体 3 B、4 B の残渣が除去される。このような基材 1、他の基材 2 の平行移動とレーザ照射をさらに繰り返す（図 1 5 ～ 1 7）ことにより、基材 1 上に設けられた微小構造体 5 A、6 A、7 A、8 A は他の基材 2 上に移載され、微小構造体 3 B、4 B、5 B、6 B、7 B、8 B が移載された他の基材 2 を得ることができる。また、他の基材 2 上に移載された微小構造体 3 B、4 B、5 B、6 B、7 B、8 B は、移載後に少なくとも 1 回のレーザの追加照射を受けているため、残渣が除去又は低減される。

[0096] 本発明の移載方法であれば、効率的に微小構造体の残渣を除去できるため、移載の生産性を向上することが可能である。

[0097] 本明細書は、以下の態様を包含する。

〔1〕：基材上に設けられた複数の微小構造体をレーザ照射により他の基材へ移載する移載方法であって、第一の微小構造体に向けて前記基材を通してレーザを照射し、前記第一の微小構造体を前記他の基材へ移載する移載工程、及び、前記移載された第一の微小構造体に向けて少なくとも一回のレーザを照射する追加照射工程を有する移載方法。

〔2〕：前記追加照射工程において、前記基材上に残存する第二の微小構造体に対して一緒にレーザを照射し、前記第二の微小構造体を前記他の基材へ移載する上記〔1〕の移載方法。

〔3〕：前記基材において、前記第一の微小構造体及び前記第二の微小構造体は隣接して配置されている上記〔2〕の移載方法。

〔４〕：さらに、前記基材上に残存する第三の微小構造体、前記移載された第一の微小構造体及び前記移載された第二の微小構造体に一緒にレーザを照射し、前記第三の微小構造体を前記他の基材へ移載する上記〔２〕又は上記〔３〕の移載方法。

〔５〕：前記基材において、前記第二の微小構造体及び前記第三の微小構造体は隣接して配置されている上記〔４〕の移載方法。

〔６〕：前記基材と前記他の基材は一定の方向に相対的に移動し、停止又は非停止の状態でレーザが照射される上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕又は上記〔５〕の移載方法。

〔７〕：前記照射されるレーザの形状は、長方形形状であり、前記移動は前記長方形の長辺の方向である上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕又は上記〔６〕の移載方法。

〔８〕：照射面における前記長方形形状のレーザの長辺の長さは、前記微小構造体の長辺方向の長さの３倍以上である上記〔７〕の移載方法。

〔９〕：照射面における前記長方形形状のレーザの長辺の長さは、前記微小構造体の長辺方向の長さの５倍以上である上記〔７〕又は上記〔８〕の移載方法。

〔１０〕：前記長方形形状のレーザが複数個あり、それらが長方形の短辺方向に離間して配列している上記〔７〕、上記〔８〕又は上記〔９〕の移載方法。

〔１１〕：前記照射されるレーザの形状は、照射面において前記微小構造体の大きさと略同一の形状のレーザが複数個あり、前記複数個のレーザが前記移動方向に離間して配列している上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕又は上記〔６〕の移載方法。

〔１２〕：前記複数個のレーザと離間して、前記移動方向に垂直な方向に更に複数個のレーザが設けられ、マトリクス状に配列されている上記〔１１〕の移載方法。

〔１３〕：前記複数の微小構造体は、高分子材料を介して前記基材上に設

けられている上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕、上記〔６〕、上記〔７〕、上記〔８〕、上記〔９〕、上記〔１０〕、上記〔１１〕又は上記〔１２〕の移載方法。

〔１４〕：前記移載工程において、前記基材上に設けられた微小構造体は、一回のレーザ照射により前記他の基材へ移載される上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕、上記〔６〕、上記〔７〕、上記〔８〕、上記〔９〕、上記〔１０〕、上記〔１１〕、上記〔１２〕又は上記〔１３〕の移載方法。

〔１５〕：前記追加照射工程において、前記移載された微小構造体に複数回のレーザを照射する上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕、上記〔６〕、上記〔７〕、上記〔８〕、上記〔９〕、上記〔１０〕、上記〔１１〕、上記〔１２〕、上記〔１３〕又は上記〔１４〕の移載方法。

〔１６〕：前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも小さいエネルギー密度のレーザを複数回照射する上記〔１５〕の移載方法。

〔１７〕：照射された前記複数回のレーザのエネルギー密度の合計は、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも大きい上記〔１５〕又は上記〔１６〕の移載方法。

〔１８〕：前記追加照射工程において移載された微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度は、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも小さい上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕、上記〔６〕、上記〔７〕、上記〔８〕、上記〔９〕、上記〔１０〕、上記〔１１〕、上記〔１２〕、上記〔１３〕、上記〔１４〕、上記〔１５〕、上記〔１６〕又は上記〔１７〕の移載方法。

〔１９〕：前記基材上に設けられた複数の微小構造体と前記他の基材は離間した状態である上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕、上記〔６〕、上記〔７〕、上記〔８〕、上記〔９〕、上記〔１０〕

、上記〔１１〕、上記〔１２〕、上記〔１３〕、上記〔１４〕、上記〔１５〕、上記〔１６〕、上記〔１７〕又は上記〔１８〕の移載方法。

〔２０〕：前記微小構造体に照射されるレーザは、フォトリソの開口部を通過して成形されており、

前記追加照射工程において前記移載された微小構造体に照射されるレーザが通過する開口部の透過率は、前記移載工程において前記基材上に設けられた微小構造体に照射されるレーザが通過する開口部の透過率よりも小さい上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕、上記〔６〕、上記〔７〕、上記〔８〕、上記〔９〕、上記〔１０〕、上記〔１１〕、上記〔１２〕、上記〔１３〕、上記〔１４〕、上記〔１５〕、上記〔１６〕、上記〔１７〕、上記〔１８〕又は上記〔１９〕の移載方法。

〔２１〕：前記移載工程において、前記基材と前記他の基材とを接触させた状態でレーザを照射し、前記追加照射工程において、前記基材と前記他の基材とを離隔させて、前記基材と前記他の基材との間に空間を形成した状態でレーザを照射する上記〔１〕、上記〔２〕、上記〔３〕、上記〔４〕、上記〔５〕、上記〔６〕、上記〔７〕、上記〔８〕、上記〔９〕、上記〔１０〕、上記〔１１〕、上記〔１２〕、上記〔１３〕、上記〔１４〕、上記〔１５〕、上記〔１６〕、上記〔１７〕、上記〔１８〕、上記〔１９〕又は上記〔２０〕の移載方法。

〔２２〕：前記追加照射工程において、前記基材と前記他の基材との間の空間に酸素ガスを供給する上記〔２１〕の移載方法。

[0098] なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

請求の範囲

- [請求項1] 基材上に設けられた複数の微小構造体をレーザ照射により他の基材へ移載する移載方法であって、
- 第一の微小構造体に向けて前記基材を通してレーザを照射し、前記第一の微小構造体を前記他の基材へ移載する移載工程、及び、
- 前記移載された第一の微小構造体に向けて少なくとも一回のレーザを照射する追加照射工程を有する移載方法。
- [請求項2] 前記追加照射工程において、前記基材上に残存する第二の微小構造体に対して一緒にレーザを照射し、前記第二の微小構造体を前記他の基材へ移載する請求項1記載の移載方法。
- [請求項3] 前記基材において、前記第一の微小構造体及び前記第二の微小構造体は隣接して配置されている請求項2記載の移載方法。
- [請求項4] さらに、前記基材上に残存する第三の微小構造体、前記移載された第一の微小構造体及び前記移載された第二の微小構造体に一緒にレーザを照射し、前記第三の微小構造体を前記他の基材へ移載する請求項2又は3記載の移載方法。
- [請求項5] 前記基材において、前記第二の微小構造体及び前記第三の微小構造体は隣接して配置されている請求項4記載の移載方法。
- [請求項6] 前記基材と前記他の基材は一定の方向に相対的に移動し、停止又は非停止の状態でレーザが照射される請求項1記載の移載方法。
- [請求項7] 前記照射されるレーザの形状は、長方形形状であり、前記移動は前記長方形の長辺の方向である請求項6記載の移載方法。
- [請求項8] 照射面における前記長方形形状のレーザの長辺の長さは、前記微小構造体の長辺方向の長さの3倍以上である請求項7記載の移載方法。
- [請求項9] 照射面における前記長方形形状のレーザの長辺の長さは、前記微小構造体の長辺方向の長さの5倍以上である請求項7記載の移載方法。
- [請求項10] 前記長方形形状のレーザが複数個あり、それらが長方形の短辺方向に離間して配列している請求項7～9いずれか一項に記載の移載方法

- 。
- [請求項11] 前記照射されるレーザの形状は、照射面において前記微小構造体の大きさと略同一の形状のレーザが複数個あり、前記複数個のレーザが前記移動方向に離間して配列している請求項6記載の移載方法。
- [請求項12] 前記複数個のレーザと離間して、前記移動方向に垂直な方向に更に複数個のレーザが設けられ、マトリクス状に配列されている請求項11記載の移載方法。
- [請求項13] 前記複数の微小構造体は、高分子材料を介して前記基材上に設けられている請求項1記載の移載方法。
- [請求項14] 前記移載工程において、前記基材上に設けられた微小構造体は、一回のレーザ照射により前記他の基材へ移載される請求項1記載の移載方法。
- [請求項15] 前記追加照射工程において、前記移載された微小構造体に複数回のレーザを照射する請求項1記載の移載方法。
- [請求項16] 前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも小さいエネルギー密度のレーザを複数回照射する請求項15記載の移載方法。
- [請求項17] 照射された前記複数回のレーザのエネルギー密度の合計は、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも大きい請求項16記載の移載方法。
- [請求項18] 前記追加照射工程において移載された微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度は、前記移載工程において微小構造体に照射されるレーザのエネルギー密度よりも小さい請求項1記載の移載方法。
- [請求項19] 前記基材上に設けられた複数の微小構造体と前記他の基材は離間した状態である請求項1記載の移載方法。
- [請求項20] 前記微小構造体に照射されるレーザは、フォトリソの開口部を通過して成形されており、
前記追加照射工程において前記移載された微小構造体に照射される

レーザが通過する開口部の透過率は、前記移載工程において前記基材上に設けられた微小構造体に照射されるレーザが通過する開口部の透過率よりも小さい請求項 1 記載の移載方法。

[請求項21] 前記移載工程において、前記基材と前記他の基材とを接触させた状態でレーザを照射し、

前記追加照射工程において、前記基材と前記他の基材とを離隔させて、前記基材と前記他の基材との間に空間を形成した状態でレーザを照射する請求項 1 記載の移載方法。

[請求項22] 前記追加照射工程において、前記基材と前記他の基材との間の空間に酸素ガスを供給する請求項 2 1 記載の移載方法。