

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4791745号  
(P4791745)

(45) 発行日 平成23年10月12日(2011.10.12)

(24) 登録日 平成23年7月29日(2011.7.29)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>GO2B</b>	<b>1/11</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B	1/10	A
<b>GO2B</b>	<b>5/18</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B	5/18	
<b>HO1S</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO1S	3/00	B

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-93145 (P2005-93145)	(73) 特許権者	000005832
(22) 出願日	平成17年3月28日 (2005.3.28)		パナソニック電気株式会社
(65) 公開番号	特開2006-276282 (P2006-276282A)		大阪府門真市大字門真1048番地
(43) 公開日	平成18年10月12日 (2006.10.12)	(73) 特許権者	591114803
審査請求日	平成19年12月17日 (2007.12.17)		財団法人レーザー技術総合研究所
			大阪府大阪市西区靱本町1丁目8番4号
		(74) 代理人	100087767
			弁理士 西川 恵清
		(72) 発明者	田中 健一郎
			大阪府門真市大字門真1048番地 松下
			電気株式会社内
		(72) 発明者	藤田 雅之
			大阪府池田市五月丘3丁目3番8-104
		審査官	櫻井 尚代
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学媒質の光入出射部処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

屈折率が異なる2つの光学媒質の界面に凹凸状の周期微細構造を設けるにあたり、光学媒質の表面に金属薄膜を形成しておき、この金属薄膜に対して1光束の入射レーザを照射させ、照射箇所にて金属薄膜を除去するとともに、入射レーザを照射した際の散乱波とこの入射レーザとの相互作用によって、光学媒質の表面に周期微細構造を形成することを特徴とする光学媒質の光入出射部処理方法。

【請求項2】

入射レーザとして、パルス幅が1ps未満の超高強度パルスレーザを用いることを特徴とする請求項1に記載の光学媒質の光入出射部処理方法。

【請求項3】

入射レーザを金属薄膜に対して斜め方向から照射することを特徴とする請求項1又は2に記載の光学媒質の光入出射部処理方法。

【請求項4】

入射レーザとして、円偏光レーザを用いることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の光学媒質の光入出射部処理方法。

【請求項5】

入射レーザ照射後に、光学媒質のレーザ加工面のエッチング処理を行うことを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の光学媒質の光入出射部処理方法。

【請求項6】

金属薄膜として銅又は鉄、或いはその合金を含む材料を用いることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の光学媒質の光入出射部処理方法。

【請求項7】

一方の光学媒質の表面に形成した周期微細構造を、他方の光学媒質と密接させることを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の光学媒質の光入出射部処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光を伝播させる素子や部品等の光学媒質における光伝播特性を向上させる為の光入出射部処理方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光学媒質内を伝播してきた光が、屈折率の異なる他の光学媒質に入射する際には、両光学媒質の界面（空気との界面を含む）において生じる反射損失が問題となる。上記反射損失は、両光学媒質の屈折率の差が大きくなる程に大となり、特に、高い屈折率を有する光学媒質から低い屈折率を有する他の光学媒質内へと光を伝播させようとする場合には、界面への入射角度が全反射角以上に至れば他の光学媒質にまで光を伝播することが不能となる。例えば、屈折率が1.77の高屈折率光学媒質であるサファイアから、屈折率が1の低屈折率光学媒質である大気中へと光を伝播させる場合、入射角度がゼロ即ち垂直入射の光であれば反射損失が7.7%となるのに対して、入射角度が34.4°以上となれば全反射を生じてしまう。これに対して、図10に示すように、屈折率の異なる光学媒質1a, 1bの界面に凹凸形状の周期微細構造を設けることで、反射損失が低下することが知られている。

【0003】

このような周期微細構造を形成する方法としては、パルス幅がfs（フェムト秒）オーダーの多光束のレーザを干渉させて成る干渉波形によって周期微細構造を形成する方法が提案されている（特許文献1参照）。このような、干渉光学系を用いてfsオーダーの多光束のレーザを干渉させる方法によれば、硝子やMgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の材料に最小5～200nmの周期間隔で周期微細構造を形成することが可能となるのだが、一方で、光の長さが非常に短い（例えばパルス幅が100fsであれば光の長さは約300μmとなる）多光束のレーザ同士を干渉させる為には非常に高精度での位置合わせが必要となり、したがって加工の高速化が困難であるという問題や、光の長さが非常に短い為に干渉領域に限界があり（例えばパルス幅が100fsであって干渉角度が45°であれば干渉領域の限界は78μmとなる）、加工の大面積化が困難であるという問題があった。

【特許文献1】特開2003-57422号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は上記問題点に鑑みて発明したものであって、干渉光学系を用いることなく且つ確実に周期微細構造を形成することができ、したがって加工の高速化や大面積化を達成することが容易な光学媒質の光入出射部処理方法を提供することを課題とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題を解決するために本発明に係る光学媒質の光入出射部処理方法を、屈折率が異なる2つの光学媒質の界面に凹凸状の周期微細構造を設けるにあたり、光学媒質の表面に金属薄膜を形成しておき、この金属薄膜に対して1光束の入射レーザを照射させ、照射箇所にて金属薄膜を除去するとともに、入射レーザを照射した際の散乱波とこの入射レーザとの相互作用によって、光学媒質の表面に周期微細構造を形成するものとする。上記処理

10

20

30

40

50

方法にあっては、干渉光学系を用いることなく且つ確実に周期微細構造を形成することができ、したがって加工の高速化や大面積化を達成することが容易なものである。

【0006】

上記処理方法にあっては、入射レーザとして、パルス幅が1 p s未満の超高強度パルスレーザを用いることが好適である。これにより、周囲への熱影響を抑制するとともに、周期微細構造の加工性を安定させて品質を向上させることができる。

【0007】

入射レーザを金属薄膜に対して斜め方向から照射することも好適であって、照射角度を調整することで周期微細構造の周期間隔を調整することが可能になる。

【0008】

また、入射レーザとして、円偏光レーザを用いることも好適であって、この場合にはドット状の周期微細構造を形成することが可能になる。

【0009】

更に、入射レーザ照射後に、光学媒質のレーザ加工面のエッチング処理を行うことで、レーザによる改質部分を除去して周期微細構造の凹凸形状を更に確実に形成することができる。光取出し効率を向上させることができる。

【0010】

また、金属薄膜として銅又は鉄、或いはその合金を含む材料を用いることが好適である。銅や鉄はレーザの吸収が良いので加工性を安定させて品質を向上させることができ、更に銅や鉄の合金にあっては耐酸化性を有するのでレーザによる加工均一性を確保することができる。

【0011】

そして、上記処理方法により一方の光学媒質の表面に形成した周期微細構造を、他方の光学媒質と密接させることで、屈折率が異なる2つの光学媒質の界面に凹凸状の周期微細構造を設けて光の透過率を向上させることができる。

【0012】

なお、以上述べた各構成は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜組合せ可能である。

【発明の効果】

【0013】

本発明は、干渉光学系を用いることなく且つ確実に周期微細構造を形成することができ、したがって加工の高速化や大面積化を達成することが容易であるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本発明に係る一例の光学媒質の光入出射部処理方法は、光学媒質の光入出射部となる界面に凹凸状の周期微細構造を形成することを目的として、特に図示はしないが、光学媒質の表面に予め金属薄膜を形成しておくとともに該金属薄膜を通じて光学媒質の表面に対して1光束の入射レーザを照射させるものである。金属薄膜に入射レーザを照射させると、照射箇所において金属薄膜が除去されるとともに除去された金属粒子がプラズマ状となってプラズマ波を発生させる。また、照射レーザが衝突した際の散乱波が発生する。入射レーザは上記のプラズマ波や散乱波と相互作用を生じ、この相互作用を生じた入射レーザによって金属薄膜の下地となる光学媒質の表面に凹凸形状の周期微細構造を形成することとなる。

【0015】

周期微細構造の周期間隔Pは、入射レーザのエネルギー密度や、金属薄膜の膜厚や材質によって制御される。図1、図2や下記の表1に示すように、光学媒質として単結晶サファイアを用い、この光学媒質の表面に形成した膜厚100 nmの銅製の金属薄膜に高エネルギー密度(80 mJ/mm<sup>2</sup>)の入射レーザを照射した場合に、周期微細構造が270 nmの周期間隔Pで形成されるのに対して、膜厚400 nmの銅製の金属薄膜に高エネルギー密度の入射レーザを照射した場合には周期微細構造が750 nmの周期間隔Pで形成される。また、膜厚400 nmの銅製の金属薄膜に低エネルギー密度(40 mJ/mm<sup>2</sup>)の入射

10

20

30

40

50

レーザを照射した場合には周期微細構造が330nmの周期間隔Pで形成される。即ち、光学媒質及び金属薄膜の材質が同じであれば、金属薄膜の膜厚が大である程に周期間隔Pが大きくなり、且つ入射レーザのエネルギー密度が大である程に周期間隔Pが大きくなるのである。

【0016】

【表1】

周期間隔 (nm)		金属薄膜の膜厚 (nm)			
		100	200	300	400
エネルギー 密度 (mJ/mm <sup>2</sup> )	5	167	214	214	167
	40	250	300	300	330
	80	270	330	750	750

10

【0017】

金属薄膜の材質としては、上記銅の他に鉄を用いてもよいし、また銅や鉄の合金を含む材料を用いてもよい。銅や鉄はレーザの吸収率が高いので、周期微細構造を形成することが容易となる。特に、波長800nmのレーザに対して形成効率が良好であるから、照射レーザのエネルギー密度を低くすることが可能となり、加工の面積化や高速化に有効である。また、レーザ加工時に金属薄膜が酸化すると該酸化部分にて吸収率が変化して加工均一性が損なわれるのだが、銅や鉄の合金にあっては耐酸化性を有するのでこれが防止される。

20

【0018】

入射レーザとしては、パルス幅が1ps(ピコ秒)未満1fs以上の超高強度パルスレーザを用いる。具体的には、モードロックTi:サファイアレーザやYAGレーザ、あるいは、これらのレーザ光を波長変換したレーザ(SHG-Ti:サファイアレーザ、THG-Ti:サファイアレーザ、FHG-Ti:サファイアレーザ、SHG-YAGレーザ、THG-YAGレーザ、FHG-YAGレーザ、エキシマレーザ)等が挙げられる。

【0019】

上記の如く入射レーザのパルス幅を1ps以下と非常に小さくすることで、レーザ加工周囲に及ぼす熱影響を抑制することができ、また、光の回折限界以下のサイズで加工することも可能になる。通常、レーザによる除去加工を行う場合にレーザ加工周囲に熱が伝わるにはns(ナノ秒)オーダーの時間が必要であるが、このような極短パルスレーザを用いればfsオーダーで照射が完了することから周囲に熱が伝わる前に加工が終了し、その結果として周囲への熱影響を抑制することが可能となる。

30

【0020】

また、このような極短パルスレーザを用いることで、多光子吸収による加工が可能となり、1光子のエネルギーでは除去することが困難な物質であっても除去加工が可能になる。加えて、レーザビームはその波長以下に集光することが困難であるのに対して、多光子吸収を利用することでビームの集光径以下の微細な加工が可能となり、しかも多光子吸収による加工しきい値以上のビームサイズの部分のみという局所的加工が可能となる。例えば、波長800nm、パルス幅150fsのTi:サファイアレーザを用いた場合、1μJ/パルス以下の加工エネルギーの1パルス加工でサファイア表面に100nmの穴加工が可能である。また、Ti:サファイアレーザよりも波長が短く且つ光子エネルギーが高いように、より小径に集光することのできる紫外レーザであるFHG-Ti:サファイアレーザを用いれば、より微細な加工が可能となる。

40

【0021】

周期微細構造の周期間隔Pは、光学媒質中を透過させようとする光の波長の1/10~10倍程度となるように制御する。これは、周期間隔Pを光の波長の1/10倍~1倍とした場合には、周期微細構造が屈折率に傾斜性を有する屈折率変化層として有効に機能するからであり、また、周期間隔Pを光の波長の1倍~10倍程度とした場合には、

50

周期微細構造が回折格子として機能することで、全反射角以上の入射角度を有する光を透過させることが可能になるからである。

【0022】

ちなみに、図3に示すような三角テーパ状の周期微細構造を通じて屈折率  $n_1$  の光学媒質 1 a から屈折率  $n_2$  の光学媒質 1 b にまで光が伝播する場合、周期間隔  $P$  が光の波長に対して十分に小さければ、山部の幅を  $a$ 、谷部の幅を  $b$  としたときの T E 波に対する有効屈折率  $n_E$  は

【0023】

【数1】

$$\langle n_E \rangle = \sqrt{\frac{a \cdot n_1^2 + b \cdot n_2^2}{a + b}}$$

10

【0024】

となり、T M 波に対する有効屈折率  $n_M$  は

【0025】

【数2】

$$\langle n_M \rangle = \sqrt{\frac{a + b}{a/n_1^2 + b/n_2^2}}$$

20

【0026】

となり、徐々に有効屈折率  $n_E$ 、 $n_M$  が変化することで、前述の屈折率の傾斜性が得られるものである。

【0027】

また、上記凹凸状の周期微細構造が形成されることで、光入出射部となる界面の面積が増大し、この面積増大により界面での光の透過率が向上するという効果もある。

【0028】

周期間隔  $P$  の調整に関しては、入射レーザを図4(a)のように真上から照射させずに、図4(b)のように斜め方向から照射させるとともに該照射角度及び走査方向を制御することで調整可能である。つまり、入射レーザの偏光方向を走査方向と一致させた場合、真上から照射したときに得られる周期微細構造の周期間隔  $P_0$ 、斜め方向から照射するときの照射角度、この照射角度のときの周期微細構造の周期間隔  $P$  とすると、

$$P = P_0 / (1 \pm \sin \theta)$$

となる。このとき、入射レーザの走査方向が図中のイ方向（真上から照射角度だけ傾けた側の方向）であれば

$$P = P_0 / (1 + \sin \theta)$$

となり、入射レーザの走査方向が図中のロ方向（上記イ方向と逆方向）であれば

$$P = P_0 / (1 - \sin \theta)$$

となることが確認される。

30

40

【0029】

ところで、上記の周期微細構造の形態は入射レーザの偏光方向に応じて変化するものであり、直線偏光レーザを用いた場合には、図5～図7に示すように、偏光方向に対して垂直に交差する方向に伸びる筋状の周期微細構造が形成される。また、入射レーザとして円偏光レーザを用いた場合には、図8に示すようにドット状の周期微細構造が形成されることとなる。

【0030】

上記レーザによるアブレーション加工中の加工雰囲気は  $0.01 Pa$  以下に抑えることが好適である。この場合、飛散した除去物を数百  $mm$  直進させることができるので、除去物の再付着により光学媒質の汚染を生じるといった問題を抑制することが可能となる。

50

## 【0031】

また、入射レーザを照射して周期微細構造を形成した後の光学媒質のレーザ加工面に対して更にエッチング処理を行い、入射レーザによる改質部分のみを除去するようにしてもよい。エッチング処理は溶液やプラズマを用いて行うが、溶液としては上記改質部分のみを選択的に除去可能なフッ酸が好適であり、フッ酸の5%溶液を用いる場合には5分以上の処理を行うことが好ましい。このエッチング処理により、周期微細構造の凹凸形状を更に確実に形成することができ、光取出し効率を向上させることができる。

## 【0032】

ここにおいて、光学媒質1a, 1bのうちの一方の光学媒質が気体や液体であり且つ他方の光学媒質が固体である場合には、他方の光学媒質の表面に周期微細構造を設け、この周期微細構造を一方の光学媒質に密接させることで、光学媒質1a, 1bの界面に屈折率変化層を形成することができる。また、光学媒質1a, 1bの両方が固体である場合には、硬さが大である方の光学媒質の表面に上記レーザ加工を行って周期微細構造を形成し、硬さが小である方の光学媒質の表面を上記周期微細構造に押し付けることで、周期微細構造を他方の光学媒質に密接させて光学媒質1a, 1bの界面に屈折率変化層を形成することができる。

## 【0033】

図9に他例を示す。これは屈折率 $n_1$ である光学媒質1aと、屈折率 $n_2$  ( $n_1$ )である光学媒質1bとの間に、前記2つの光学媒質1a, 1bの屈折率 $n_1, n_2$ と異なる屈折率 $n_3$ を有し、且つ前記2つの光学媒質1a, 1bよりも硬さが小である光学媒質1cを介在させたものである。光学媒質1a, 1bが共に固体である場合に両光学媒質1a, 1bの表面に周期微細構造を形成したならば、その界面には隙間が生じてしまうこととなるが、上記光学媒質1cを介在させてこの光学媒質1cが両光学媒質1a, 1bの周期微細構造の凹凸間に入り込むようにすることで、2つの界面にそれぞれ隙間を生じることなく屈折率変化層を形成することができる。例えば、光学媒質1aが屈折率 $n_1 = 1.77$ のサファイアであり、光学媒質1bが屈折率 $n_2 = 1.5$ の石英ガラスであるとき、介在させる光学媒質1cとして屈折率 $n_3 = 1.6$ のアクリル樹脂を用いることで、光学媒質1aから光学媒質1bまでの連続した屈折率傾斜性を確保して光の伝播損失を抑制することができる。なお、上記2つの界面の一方にのみ周期微細構造を形成するものであっても構わない。

## 【0034】

上記したように、一例や他例の処理方法においては、1光束の入射レーザに散乱波やプラズマを相互作用させることによって、光入射部となる界面に凹凸状の周期微細構造を形成することができる。即ち、干渉光学系を用いることなく且つ確実に周期微細構造を形成することができるので、加工を高速化及び大面積化することが容易である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0035】

【図1】本発明の実施形態における一例の光学媒質の光入射部処理方法を用いた場合の、金属薄膜の膜厚と周期間隔との関係を示すグラフ図である。

【図2】同上の処理方法で形成される周期微細構造を示す説明図であり、(a)は周期間隔が $270\mu\text{m}$ 、(b)は周期間隔が $750\mu\text{m}$ 、(c)は周期間隔が $330\mu\text{m}$ となる場合を示している。

【図3】同上の処理方法で形成される周期微細構造の断面拡大図である。

【図4】(a)(b)は同上の処理方法における光照射方向と周期間隔との相関の説明図である。

【図5】(a)は入射レーザの偏光方向を示す説明図、(b)は(a)の入射レーザにより形成される周期微細構造の方向性を示す正面図(写真)である。

【図6】(a)は入射レーザの別の偏光方向を示す説明図、(b)は(a)の入射レーザにより形成される周期微細構造の方向性を示す正面図(写真)である。

【図7】(a)は入射レーザの更に別の偏光方向を示す説明図、(b)は(a)の入射レ

10

20

30

40

50

ーザにより形成される周期微細構造の方向性を示す正面図（写真）である。

【図8】（a）は入射レーザーのまた更に別の偏光方向を示す説明図、（b）は（a）の入射レーザーにより形成される周期微細構造の方向性を示す正面図（写真）である。

【図9】本発明の実施形態における他例の光学媒質の光入出射部処理方法で形成される周期微細構造の断面拡大図である。

【図10】周期微細構造を示す説明図である。

【符号の説明】

【0036】

1 a 光学媒質

1 b 光学媒質

1 c 光学媒質

P 周期間隔

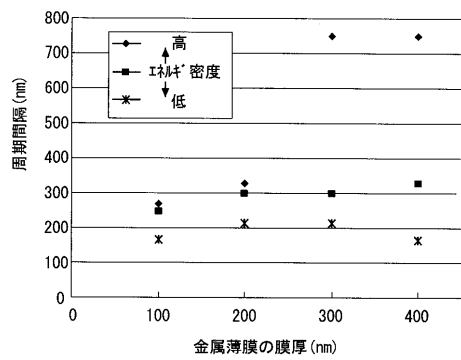
$n_1$  屈折率

$n_2$  屈折率

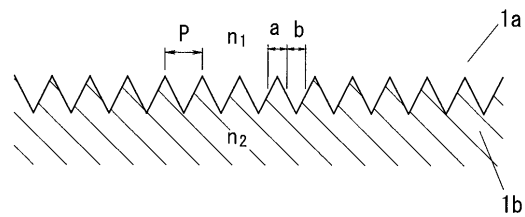
$n_3$  屈折率

照射角度

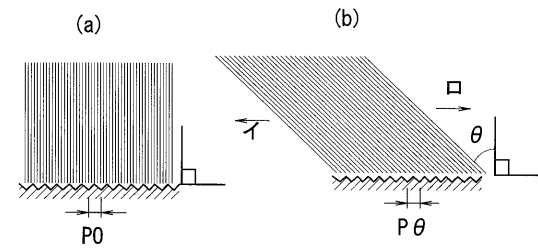
【図1】



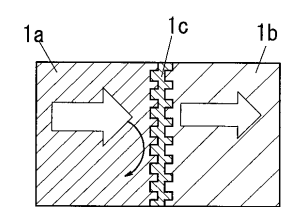
【図3】



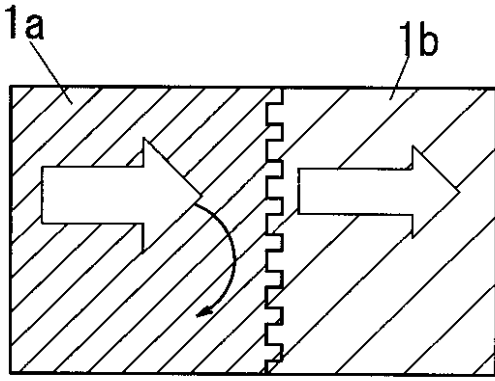
【図4】



【図9】

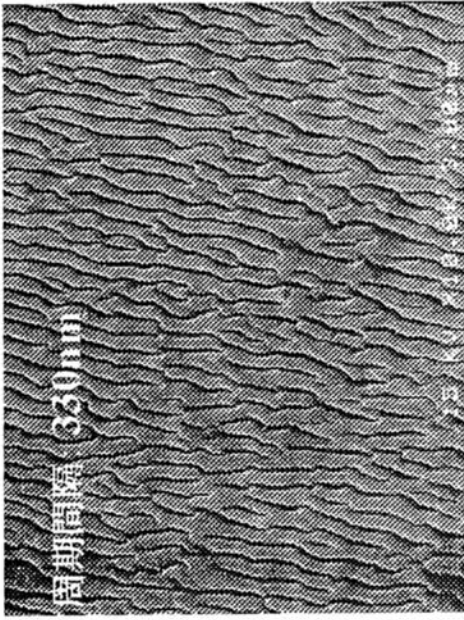


【図10】



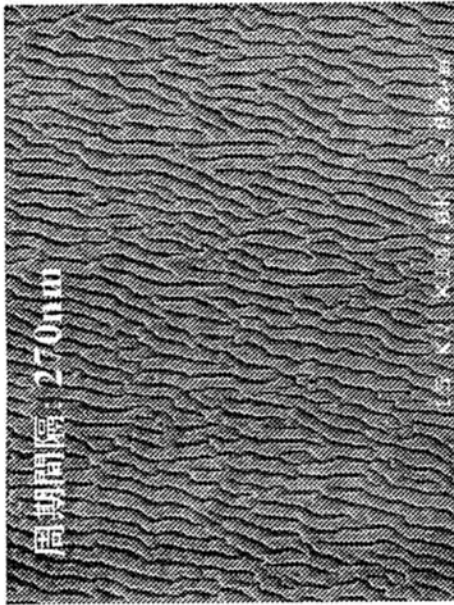


【図2】



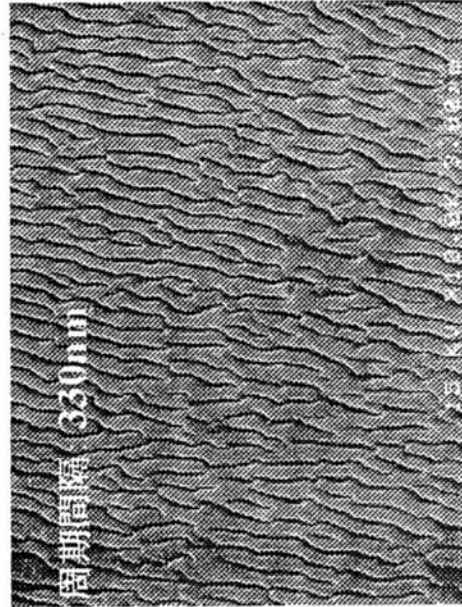
(b)

レーザー照射エネルギー密度:低



(a)

金属膜厚:100nm



(c)

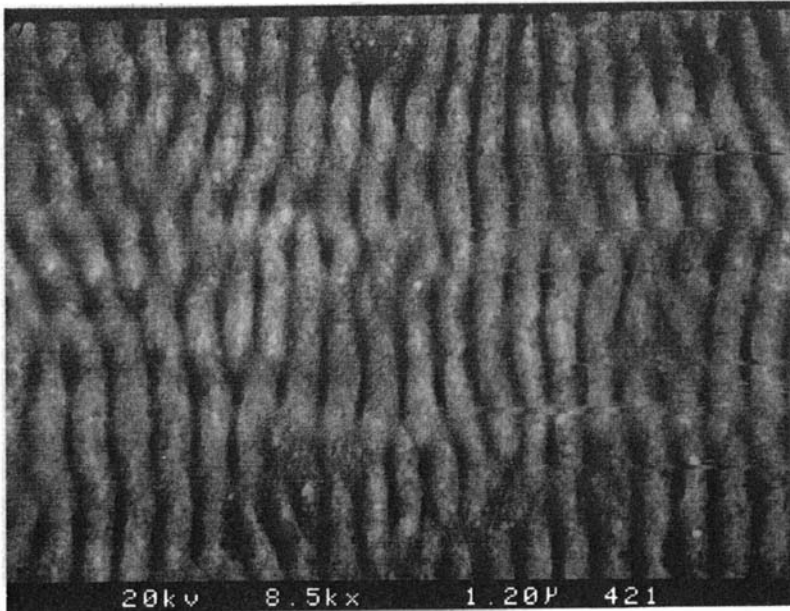
レーザー照射エネルギー密度:低

【 図 5 】

(a)



(b)

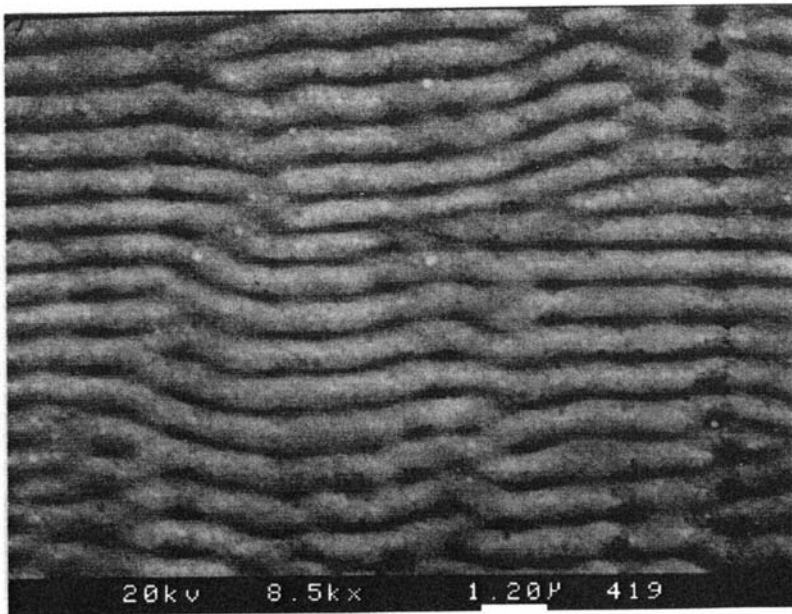


【 図 6 】

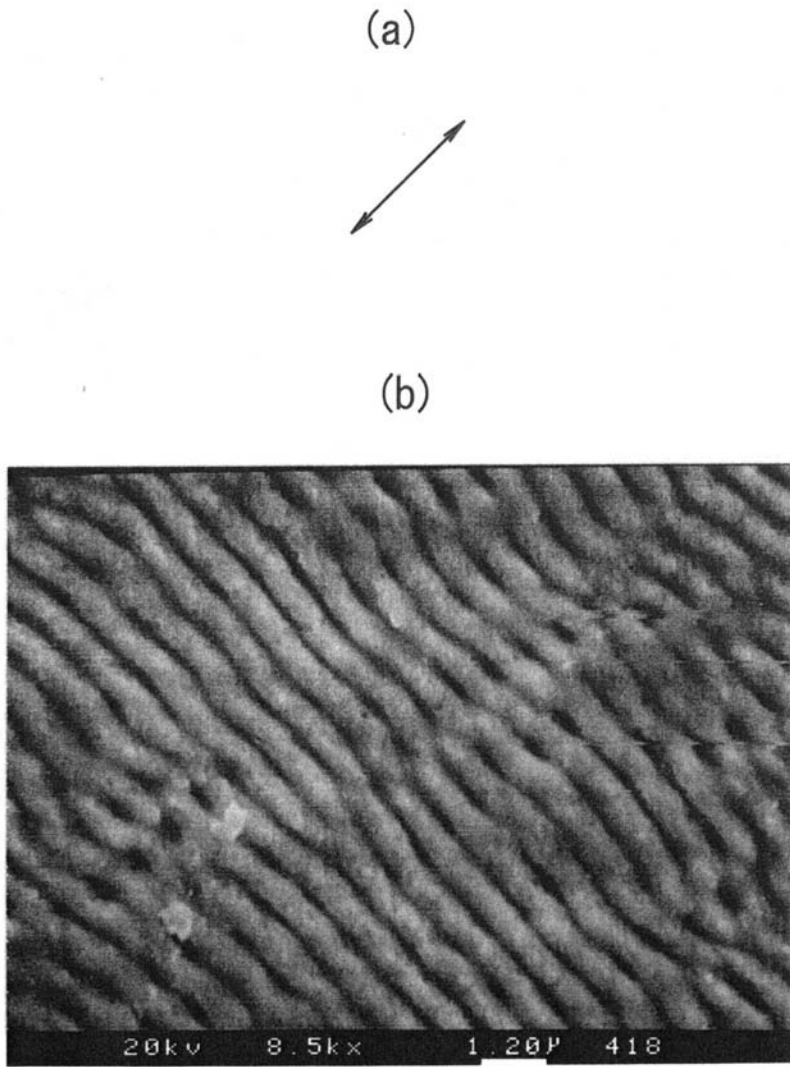
(a)



(b)

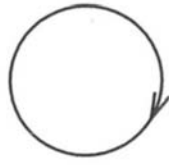


【 図 7 】

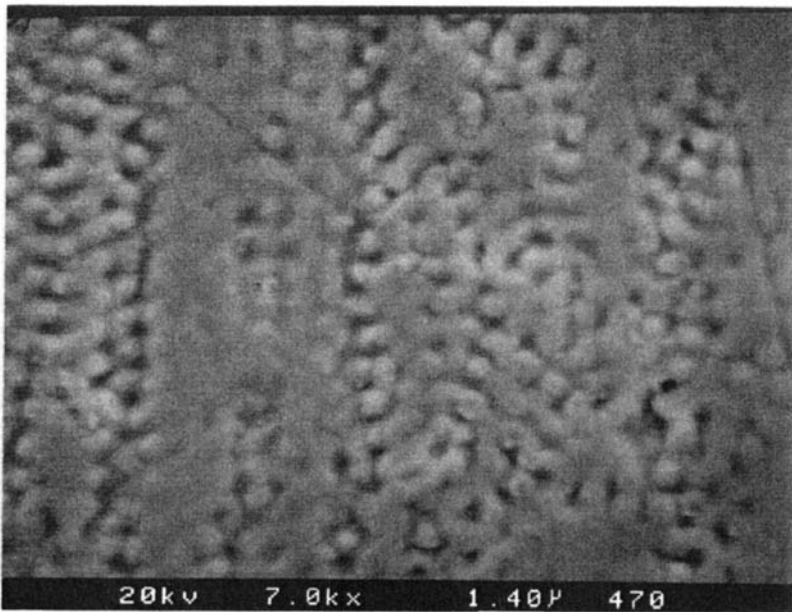


【 図 8 】

(a)



(b)



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-339538(JP,A)  
特開2004-354535(JP,A)  
特開2003-133690(JP,A)  
特開2003-057422(JP,A)  
特開2002-372641(JP,A)  
特開2004-006738(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 1/10 - 1/12  
G02B 5/18