(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2024-62273
(P2024-62273A)
(43)公開日　令和6年5月9日(2024.5.9)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｇ０２Ｂ	*5/02 (2006.01)*	Ｇ０２Ｂ	5/02	Ｃ	２Ｈ０４２
Ｇ０２Ｂ	*5/18 (2006.01)*	Ｇ０２Ｂ	5/18		２Ｈ２４９

審査請求　未請求　請求項の数　8　　ＯＬ　（全13頁）

(21)出願番号　特願2022-170153(P2022-170153)
(22)出願日　令和4年10月24日(2022.10.24)
特許法第３０条第２項適用申請有り　・ウェブサイトのアドレス　ｈｔｔｐｓ：／／ｍｎｃ２０２１．ａｗａｒｄ－ｃｏｎ．ｃｏｍ／ＬＯＧＩＮ．ｐｈｐ　なお、当該ウェブサイトは、公開当時にはアクセス可能であったが、令和４年１１月１８日時点においてアクセス不可となっている。　掲載日　令和３年１０月２６日　・研究集会名　マイクロプロセス・ナノテクノロジー　国際会議　第３４回目（ＭＮＣ　２０２１）　開催場所　オンラインおよびオンデマンド開催（Ｚｏｏｍ）　開催日　令和３年１０月２９日

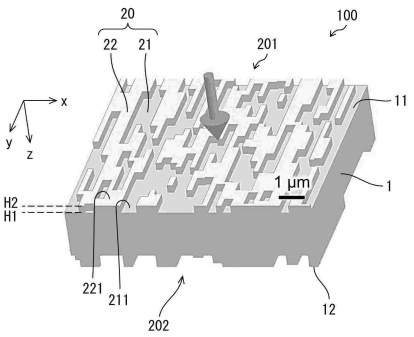
(71)出願人　504176911
国立大学法人大阪大学
大阪府吹田市山田丘１番１号
(74)代理人　110000338
弁理士法人　ＨＡＲＡＫＥＮＺＯ　ＷＯＲＬＤ　ＰＡＴＥＮＴ　＆　ＴＲＡＤＥＭＡＲＫ
(72)発明者　齋藤　彰
大阪府吹田市山田丘１番１号　国立大学法人大阪大学内
(72)発明者　山下　和真
大阪府吹田市山田丘１番１号　国立大学法人大阪大学内

Ｆターム（参考）　2H042　BA04 BA09 BA12 BA16
2H249　AA03 AA13 AA55 AA61

(54)【発明の名称】　ディフューザ

(57)【要約】
【課題】良好な拡散性を有するディフューザを提供することを目的とする。
【解決手段】ディフューザ（１００，１００ａ、１００ｂ）は、入射光を回折によって拡散させる凹凸構造（２０，２０ａ）が形成された領域を有する基板（１）を備え、前記凹凸構造は、複数の凹部（２１，２１ａ）と複数の凸部（２２，２２ａ）とを有し、前記複数の凹部および前記複数の凸部は、非格子状に配置され、かつ、前記領域において非周期的に配置される。
【選択図】図４

図４



【特許請求の範囲】
【請求項１】
入射光を回折によって拡散させる凹凸構造が形成された領域を有する基板を備え、
前記凹凸構造は、第１のレベルにある複数の凹部と第２のレベルまで突出した複数の凸部とを有し、
前記複数の凹部および前記複数の凸部は、非格子状に配置され、かつ、前記領域において非周期的に配置される、ディフューザ。
【請求項２】
前記複数の凸部の頂部はそれぞれ、矩形または複数の矩形が繋がったものである、請求項１に記載のディフューザ。
【請求項３】
前記矩形の第１辺に沿った方向を第１方向、前記矩形の第１辺と直交する第２辺に沿った方向を第２方向とするとき、
前記第１方向に沿った直線上における入射光の回折が生じる第１回折部の数の平均値は、前記第２方向に沿った直線上における入射光の回折が生じる第２回折部の数の平均値より多い、請求項２に記載のディフューザ。
【請求項４】
前記矩形の第１辺に沿った方向を第１方向、前記矩形の第１辺と直交する第２辺に沿った方向を第２方向とするとき、
前記第１方向に沿った直線上における入射光の回折が生じる第１回折部の数の平均値は、前記第２方向に沿った直線上における入射光の回折が生じる第２回折部の数の平均値と略等しい、請求項２に記載のディフューザ。
【請求項５】
前記凹凸構造は、前記基板の第１面に形成される第１凹凸構造と、前記第１面とは反対側の第２面に形成される第２凹凸構造とを有する、請求項１に記載のディフューザ。
【請求項６】
前記基板は疎水性を有する材料により形成される、請求項１から５のいずれか１項に記載のディフューザ。
【請求項７】
前記凹凸構造上に配置される保護層をさらに備える、請求項１から５のいずれか１項に記載のディフューザ。
【請求項８】
入射光を回折によって拡散させる凹凸構造が形成された領域を有する基板を用意するステップと、
前記凹凸構造に光を入射させることにより、当該光を拡散させるステップと、を含む光拡散方法であって、
前記凹凸構造は、第１のレベルにある複数の凹部と第２のレベルまで突出した複数の凸部とを有し、
前記複数の凹部および前記複数の凸部は、非格子状に配置され、かつ、前記領域において非周期的に配置される、光拡散方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光を拡散させるディフューザに関する。
【背景技術】
【０００２】
ディフューザは、光を様々な方向に拡散させるための部品であり、日常生活における様々な光学システム（ＬＥＤ照明、液晶ディスプレイ、および採光窓など）において広く使用されている。ディフューザは主に、体積型（バルク型）ディフューザと、表面起伏型ディフューザとに大別される。体積型ディフューザは、複数の散乱体が埋め込まれた板また

はフィルムであり、当該複数の散乱体による多重散乱により入射光を拡散させる。表面起伏型ディフューザは、例えば表面起伏での光の屈折を利用して入射光を拡散させる。表面起伏型ディフューザには、ミクロンスケールの粗い表面により光を拡散させるすりガラスおよびフロストガラス、マクロスケールの表面により光を拡散させるプリズマティックディフューザ、並びにミクロンサイズのランダムな凹凸により光を拡散させるホログラフィックディフューザなどが存在する。

【０００３】

ここで、体積型ディフューザにおいては、多重散乱により拡散範囲を広げる代わりに透過率が低下してしまうといった問題がある。また、表面起伏型ディフューザにおいては、光の屈折に起因する波長分散が生じるもの、あるいは表面起伏が不足するため拡散範囲が狭いものが多いといった問題がある。すなわち、これらのディフューザでは、高透過率、広角拡散、および低波長分散を同時に実現することができないといった問題がある。

【０００４】

そこで、モルフォ蝶の翅の表面構造に着想を得たモルフォ型ディフューザが近年開発されている。モルフォ型ディフューザは、入射光の回折広がりを生じさせるナノスケールの表面構造であり、回折格子の生成を防ぐ（すなわち波長分散を防ぐ）乱雑な表面構造を有する。このような表面構造により、モルフォ型ディフューザは、高透過率、広角拡散、および低波長分散を同時に実現することができる。

【０００５】

モルフォ型ディフューザとして、乱雑な高さを有する複数の高アスペクト比の構造体が配置された表面構造を有するものが提案されている。しかしながら、このような乱雑な高さで規定されるナノ表面構造の製造は実現困難である。非特許文献１は、表面構造を乱雑な幅と２段高さとで規定される２次元ナノパターンとしたモルフォ型ディフューザを開示している。当該２次元ナノパターンは、公知の半導体プロセスであるリソグラフィおよびナノインプリントにより製造が可能である。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００６】

【非特許文献１】KAZUMA YAMASHITA, KENTARO KUNITSU, TAKUMA HATTORI, YUJI KUWAHARA, AND AKIRA SAITO, "Demonstration of a diffraction-based optical diffuser inspired by the Morpho butterfly" Optics Express Vol.29, No.19, pp.30927-30936 ,13 Sep 2021

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

しかしながら、非特許文献１に開示されるような格子状の表面構造では、拡散パターンに十字の輝線および中央に強い輝点が現れるといった問題がある。

【０００８】

本発明の一態様は、良好な拡散性を有するディフューザ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】

【０００９】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るディフューザは、入射光を回折によって拡散させる凹凸構造が形成された領域を有する基板を備え、前記凹凸構造は、第１のレベルにある複数の凹部と第２のレベルまで突出した複数の凸部とを有し、前記複数の凹部および前記複数の凸部は、非格子状に配置され、かつ、前記領域において非周期的に配置される。

【００１０】

また、上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る光拡散方法は、入射光を回折によって拡散させる凹凸構造が形成された領域を有する基板を用意するステップと、前記凹凸構造に光を入射させることにより、当該光を拡散させるステップと、を含む光拡散

方法であって、前記凹凸構造は、第１のレベルにある複数の凹部と第２のレベルまで突出した複数の凸部とを有し、前記複数の凹部および前記複数の凸部は、非格子状に配置され、かつ、前記領域において非周期的に配置される。

【発明の効果】

【００１１】

本発明の一態様によれば、良好な拡散性を有するディフューザを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】参考形態に係るディフューザを示す斜視図である。

【図２】参考形態に係るディフューザの凹凸構造を示す下面図および上面図である。

【図３】参考形態に係るディフューザにより拡散された拡散光のスクリーン上への投影を示す図である。

【図４】実施形態１に係るディフューザを示す斜視図である。

【図５】実施形態１に係るディフューザの凹凸構造を示す上面図である。

【図６】実施形態１に係るディフューザにより拡散された拡散光のスクリーン上への投影を示す図である。

【図７】実施形態２に係るディフューザを示す斜視図である。

【図８】実施形態２に係るディフューザの凹凸構造を示す上面図である。

【図９】実施形態２に係るディフューザにより拡散された拡散光のスクリーン上への投影を示す図である。

【図１０】変形例に係るディフューザを示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１３】

〔参考形態〕

実施形態１に係るディフューザ１００の説明に先立ち、参考形態に係るディフューザ１００ｓについて説明する。説明の便宜上、参考形態にて説明した構成要素と同じ機能を有する構成要素については、以降の各実施形態では、同じ符号を付記し、その説明を繰り返さない。

【００１４】

（ディフューザ１００ｓの概要）

図１は、ディフューザ１００ｓを示す斜視図である。図１に示すように、ディフューザ１００ｓは、入射光を回折によって拡散させる凹凸構造２０ｓが形成された領域Ｒを有する基板１からなる。基板１は、入射光が入射される第１面１１と、透過光が出射する第１面１１とは反対側の第２面１２とを有する平板状の部材である。以下、基板１における第２面１２に直交する方向をＺ軸方向、第２面１２の第１辺および第２辺に沿う方向をそれぞれＸ軸方向、Ｙ軸方向とする。また、Ｚ軸の正の向きを上方、負の向きを下方とする。

【００１５】

図１に示す一例では、凹凸構造２０ｓが形成された領域Ｒは、第１面１１全体である第１領域と、第２面１２全体である第２領域とを含む。すなわち、凹凸構造２０ｓは、第１面１１に形成される第１凹凸構造２０１ｓと、第２面１２に形成される第２凹凸構造２０２ｓとを含む。

【００１６】

凹凸構造２０ｓは、第１のレベルＨ１にある複数の凹部２１ｓと第２のレベルＨ２まで突出した複数の凸部２２ｓとを有する。すなわち、凹凸構造２０ｓは、基板１に形成される２段高さより規定される。このような２段高さにより規定される凹凸構造２０ｓは、リソグラフィおよびナノインプリントにより製造が可能となる。

【００１７】

図２は、ディフューザ１００ｓの凹凸構造２０ｓを示す下面図および上面図である。図２の符号２Ａおよび符号２Ｂはそれぞれ、第１凹凸構造２０１ｓおよび第２凹凸構造２０２ｓを示す。図２に示すように、凹凸構造２０ｓでは、複数の凹部２１ｓおよび複数の凸

部２２ｓが格子状に（市松模様のように）配置されている。すなわち、複数の凹部２１ｓは矩形の底部２１１ｓを有し、複数の凸部２２ｓは矩形の頂部２２１ｓを有する。また、複数の凹部２１ｓおよび複数の凸部２２ｓは、ナノスケールかつ乱雑な幅を有する。

【００１８】

具体的には、複数の頂部２２１ｓ（複数の底部２１１ｓ）のＸ軸方向に沿った第１辺およびＹ軸方向に沿った第２辺の長さは、それぞれ独立した所定の分布関数に基づいて決定されている。例えば、複数の頂部２２１ｓの第１辺の長さW_xおよび第２辺の長さW_yはそれぞれ、$W_x = W_0 + \sigma_x$、$W_y = W_0 + \sigma_y$（W_0：最小幅、σ_x：所定の第１分布関数、σ_y：所定の第２分布関数）と表される。ディフューザ１００ｓは、このような乱雑な凹凸構造２０ｓを有することにより、波長分散を防ぎつつ、入射光を回折広がりにより拡散させることができる。入射光を回折広がりにより拡散させることで、高透過率かつ広角拡散での光拡散が実現できる。

【００１９】

また、第１凹凸構造２０１ｓと第２凹凸構造２０２ｓとで、複数の凹部２１ｓおよび複数の凸部２２ｓの配置が異なっていてもよい。具体的には、第１凹凸構造２０１ｓと第２凹凸構造２０２ｓとで、最小幅W_0および凹凸深さｄが異なっていてもよい。例えば、第１凹凸構造２０１ｓにおいて、最小幅W_0＝３００ｎｍ、凹凸深さｄ＝４４０ｎｍと設定され、第２凹凸構造２０２ｓにおいて、最小幅W_0＝４７０ｎｍ、凹凸深さｄ＝６９０ｎｍと設定されてもよい。これにより、第１面１１においては短波長の光を拡散し、第２面１２においては長波長の光を拡散することができる。

【００２０】

また、所定の第１分布関数および所定の第２分布関数は、複数の頂部２２１ｓの第１辺の長さW_xの平均値が第２辺の長さW_yの平均値より小さくなるように設定されてもよい。これにより、Ｙ軸方向よりもＸ軸方向に広角に光を拡散させることができる（すなわち異方拡散が可能である）。

【００２１】

図３は、ディフューザ１００ｓにより拡散された拡散光のスクリーン上への投影（拡散パターン）を示す図である。図３に示すように、ディフューザ１００ｓに光を入射させると、Ｘ軸方向に広くＹ軸方向に狭く拡散するような異方拡散を示す拡散パターンが得られた。

【００２２】

ここで、当該拡散パターンには、十字の輝線（Ｘ軸方向およびＹ軸方向に沿った輝線）および中央に強い輝点が現れた。このような十字の輝線および中央の輝点は、上述の所定の分布関数に基づいて設計される、格子状の凹凸構造２０ｓに起因するものであると考えられる。

【００２３】

（ディフューザ１００ｓの課題）

以上のように、格子状の凹凸構造２０ｓでは、拡散パターンに十字の輝線および中央に強い輝点が現れるといった問題がある。すなわち、ディフューザ１００ｓには、十字の輝線および中央の輝点の発生を抑制することにより、拡散性をさらに改善する余地がある。また、凹凸構造２０ｓは、微細な表面ナノパターンであるため、表面汚染または機械的衝撃に弱いといった問題もある。

【００２４】

〔実施形態１〕

（ディフューザ１００の概略構成）

本発明者らは、参考形態に係るディフューザ１００ｓに代えて凹凸構造２０を有するディフューザ１００を用いることにより、拡散光における十字の輝線および中央の輝点の発生を抑制できることを見出した。また、疎水性を有する材料で基板１を形成することにより、表面汚染に対する耐性をディフューザ１００に与えることができることを見出した。実施形態１では、このようなディフューザ１００について説明する。

【００２５】
図４は、ディフューザ１００を示す斜視図である。図４に示すように、ディフューザ１００は、入射光を回折によって拡散させる凹凸構造２０が形成された領域Ｒを有する基板１からなる。
【００２６】
図４に示す一例では、凹凸構造２０が形成された領域Ｒは、基板１の第１面１１全体である第１領域と、基板１の第２面１２全体である第２領域とを含む。すなわち、凹凸構造２０は、第１面１１に形成される第１凹凸構造２０１と、第２面１２に形成される第２凹凸構造２０２とを含む。
【００２７】
凹凸構造２０は、第１のレベルＨ１にある複数の凹部２１と第２のレベルＨ２まで突出した複数の凸部２２とを有する。すなわち、凹凸構造２０は、基板１に形成される２段高さ（基板１の第１のレベルＨ１および第２のレベルＨ２）より規定される。このような２段高さにより規定される凹凸構造２０は、リソグラフィおよびナノインプリントにより製造が可能となる。
【００２８】
基板１は、ディフューザ１００に撥水性を付与するため、疎水性を有する材料により形成されるとよい。特に、基板１は、疎水性、透明性、機械強度、および耐候性などに優れるポリジメチルシロキサン（ＰＤＭＳ）（屈折率～１．４１）により形成されるとよい。ここで、撥水性は一般的に、表面にナノスケールの凹凸を設けることでも発現させることができる。つまり平坦な表面に比べ、ナノスケールの凹凸が設けられた表面は、水滴が乗った際に表面凸部と水滴との接触面積が著しく減り、また凹部では空気がクッションの役割をして、表面への水の浸漬が妨げられるため、撥水性の高い表面となる。この効果はロータス（ハスの葉）効果と呼ばれ、ハスの葉の表面で発見された撥水性表面の現象である。泥水のある環境に生息するハスは、葉の表面が泥で汚れて光合成が妨げられることを、この撥水効果により防ぐ事が知られている。このロータス効果を本実施形態に係るディフューザ１００に適用することにより、ディフューザ１００の自浄作用を発現させることができる。すなわち、表面に凹凸構造２０を設けた基板１の材料を疎水性材料とすることにより、ディフューザ１００の撥水性を大幅に向上させ、ディフューザ１００の自浄作用を発現させることができる。これにより、ディフューザ１００の表面汚染に対する耐性を向上させることができる。これは、撮影照明のディフューザまたは採光窓といった屋外で利用されるディフューザにとって有利な効果となる。
【００２９】
（凹凸構造２０の詳細な構成）
図５は、ディフューザ１００の凹凸構造２０を示す上面図である。図５に示すように、凹凸構造２０では、複数の凹部２１および複数の凸部２２は、非格子状に配置され（市松模様のように配置されておらず）、かつ、領域Ｒにおいて非周期的に配置されている。また、複数の凹部２１および複数の凸部２２は、Ｘ軸方向およびＹ軸方向においてナノスケールの寸法を有する。ディフューザ１００は、このような凹凸構造２０を有することにより、高透過率、広角拡散、および低波長分散を満たしつつ、十字の輝線および中央の輝点の発生を抑制することができる。
【００３０】
具体的には、複数の凸部２２の頂部２２１（複数の凹部２１の底部２１１）はそれぞれ、矩形または複数の矩形が繋がったものである。図５においては、凸部２２Ａの頂部は矩形であって、凸部２２Ｂの頂部は複数の矩形が繋がったものである。このように、複数の凸部２２の頂部の形状は、一定の形状ではない。複数の凸部２２は、複数の矩形が複雑に繋がった形状（矩形ではない形状）の凸部を含む。
【００３１】
また、凹凸構造２０において、Ｘ軸方向（第１方向）に沿った直線上における入射光の回折が生じる第１回折部の数の平均値は、Ｙ軸方向（第２方向）に沿った直線上における

入射光の回折が生じる第２回折部の数の平均値より多い。これにより、ディフューザ１００は、Ｙ軸方向よりもＸ軸方向に広角に光を拡散させることができる（すなわち異方拡散が可能である）。ここで、上述の第１回折部は、言い換えると、Ｘ軸方向に沿った直線上における所定の長さ（例えば、可視光線の波長）より短い幅を有する凹部および凸部のことである。同様に、上述の第２回折部は、言い換えると、Ｙ軸方向に沿った直線上における所定の長さより短い幅を有する凹部および凸部のことである。また、第１回折部の数の平均値とは、具体的には、Ｘ軸方向における第１回折部の単位長さ当たりの数を、領域ＲのＹ軸方向の全長に沿って平均化した値のことである。同様に、第２回折部の数の平均値とは、具体的には、Ｙ軸方向における第２回折部の単位長さ当たりの数を、領域ＲのＸ軸方向の全長に沿って平均化した値のことである。

【００３２】

（凹凸構造２０の設計方法）

凹凸構造２０の設計方法について、以下に説明する。まず、凹凸構造２０が形成される領域Ｒを、複数の区分領域ＤＲ（凹凸構造２０の単位構造）に区分する。ここで、複数の区分領域ＤＲは矩形であり、複数種類の形状を有する。次に、複数の区分領域ＤＲをそれぞれ、凹領域および凸領域のいずれかに（例えば略等しい確率で）ランダムに決定する。凹領域と決定された区分領域ＤＲにおいては、基板１の高さが第１のレベルＨ１となるように形成され、凸領域と決定された区分領域ＤＲにおいては、基板１の高さが第２のレベルＨ２となるように形成される。これにより、凹凸構造２０は、凹領域または接続された複数の凹領域において凹部２１を、凸領域または接続された複数の凸領域において凸部２２を有するように設計される。このように、複数の区分領域ＤＲをそれぞれ、凹領域および凸領域のいずれかにランダムに決定することにより、少なくとも複数の区分領域ＤＲにおいて凹凸が順番に交互に形成されることはない。すなわち、上述の設計方法により、複数の凹部２１および複数の凸部２２は、非格子状に配置され（市松模様のように配置されておらず）、かつ、領域Ｒにおいて非周期的に配置されている。

【００３３】

ここで、複数の区分領域ＤＲのＸ軸方向に沿った第１辺の長さＷは、全て同一となるように設定される。一方、複数の区分領域ＤＲのＹ軸方向に沿った第２辺の長さＬは、全て同一ではなく、任意の分布関数（例えば正規分布関数）に基づいてランダムに決定される。これにより、複数の区分領域ＤＲを複数種類の形状とすることができる。従って、凹凸構造２０の設計をシンプルにしつつ、凹凸構造２０を乱雑な（非周期的な）二次元パターンとすることができる。

【００３４】

また、複数の区分領域ＤＲのＸ軸方向に沿った第１辺の長さＷは、可視光線の波長よりも短くなるように設定される。また、複数の区分領域ＤＲのＹ軸方向に沿った第２辺の長さＬの平均値は、可視光線の波長よりも長くなるように設定される。これにより、第１回折部の数の平均値を第２回折部の数の平均値より多くすることができる。従って、凹凸構造２０により入射光の異方拡散が可能である。

【００３５】

また、第１凹凸構造２０１と第２凹凸構造２０２とで、複数の凹部２１および複数の凸部２２の配置が異なっていてもよい。具体的には、第１凹凸構造２０１と第２凹凸構造２０２とで、第１辺の長さＷおよび第２辺の長さＬの設定が異なっていてもよい。例えば、第１凹凸構造２０１において、第１辺の長さＷ＝３００ｎｍ、第２辺の長さＬ＝１５００±５００ｎｍと設定され、第２凹凸構造２０２において、第１辺の長さＷ＝４５０ｎｍ、第２辺の長さＬ＝２２５０±５００ｎｍと設定されてもよい。なお、±５００は、正規分布関数における標準偏差を表す。これにより、第１面１１においては短波長の光を拡散し、第２面１２においては長波長の光を拡散することができる。

【００３６】

なお、実際には後述する製造過程において、加工方法（エッチング）に起因して、凹部２１および凸部２２の寸法（第１辺の長さＷおよび第２辺の長さＬ）は変化し得る。その

ため、このような製造過程における凹部２１および凸部２２の寸法の変化を考慮して、第１辺の長さWおよび第２辺の長さＬは決定されてもよい。すなわち、第１辺の長さWは、製造後において全て略同一となるように設定される。図５は、設計段階における凹凸構造２０を示している。図５に示すように、設計段階においては、凹領域および凸領域の第１辺の長さWは不均一であり得る。

【００３７】

（ディフューザ１００の製造方法）

ディフューザ１００の製造方法について、以下に説明する。ディフューザ１００は、例えばリソグラフィおよびナノインプリントにより製造が可能である。具体的には、まず、電子線リソグラフィと深堀りドライエッチングとによりＳｉウエハ上に（上述の設計方法により設計された）凹凸構造２０に対応する二次元パターンを形成する。次に、当該Ｓｉウエハ上の二次元パターンを、樹脂層（基板１）に転写する。これにより、凹凸構造２０が形成されたディフューザ１００が製造される。

【００３８】

（シミュレーション結果）

上述の設計方法により設計された凹凸構造２０を有するディフューザ１００の拡散性および透過性を検証するために、ディフューザ１００に光を入射したときの拡散パターンを算出する光学シミュレーションを行った。当該光学シミュレーションの結果、可視光全域において９０％の高透過率が得られた。また、（透過光のうち直進光を除いた）拡散光の半値幅は、広角方向（Ｘ軸方向）で８３°、狭角方向（Ｙ軸方向）で１６°を示した。これは、従来のディフューザに比べて透過率および拡散性の双方において優れていることを示している。

【００３９】

（拡散性および透過性に係る実測結果）

上述の製造方法により製造されたディフューザ１００の拡散性および透過性を検証するために、ディフューザ１００に光を入射したときの拡散パターンの実測を行った。

【００４０】

図６は、ディフューザ１００により拡散された拡散光のスクリーン上への投影を示す図である。図６に示すように、ディフューザ１００に光を入射させると、入射光がＸ軸方向に広くＹ軸方向に狭く拡散するような異方拡散を示す拡散パターンが得られた。ここで、可視光全域において９３％の高透過率が得られた。また、拡散光の半値幅は、広角方向（Ｘ軸方向）で７９°、狭角方向（Ｙ軸方向）で１６°を示した。これは、シミュレーション結果と同様に、従来のディフューザに比べて透過率および拡散性の双方において優れていることを示している。

【００４１】

また、図３に示す拡散パターンと比較して、図６に示す拡散パターンでは、十字の輝線および中央の輝点の強度が低減した。これは、凹凸構造２０において、複数の凹部２１および複数の凸部２２を非格子状に配置したことに起因する。

【００４２】

以上より、ディフューザ１００は、非格子状の表面構造を有することにより、参考形態に係るディフューザ１００ｓと比較し、十字の輝線および中央の輝点の発生を抑制することができる。また、ディフューザ１００は、参考形態に係るディフューザ１００ｓと比較し、表面構造の設計をシンプルにすることができる。

【００４３】

（撥水性および自浄作用に係る実測結果）

さらに、基板１の材質としてＰＤＭＳを用いた場合における、ディフューザ１００の撥水性および自浄作用を検証するために、水接触角と滑落角との測定、および自浄作用のテストを行った。

【００４４】

凹凸構造２０を形成していない基板１における水接触角は１０８．４±５．７°であっ

た。一方、凹凸構造２０を形成した基板１における水接触角は１３４．４±２．１°であった。これは、基板１の表面にナノスケールの凹凸構造２０を設け、また疎水性を有するＰＤＭＳを基板１の材質とすることにより、ディフューザ１００の撥水性を大幅に向上できたことを示している。また、凹凸構造２０を形成した基板１上の水滴は、基板１を水平面から約３１°まで傾けると素早く滑落した。これは、ディフューザ１００の撥水性が優れていることを示している。

【００４５】

また、基板１上にカラーサンドを振りかけ、ピペットから水を滴下したところ、凹凸構造２０を形成していない基板１上のカラーサンドはほとんど吸着したままであった一方、凹凸構造２０を形成した基板１上のカラーサンドは流水とともに素早く洗い流された。これは、ディフューザ１００の顕著な自浄作用を示している。

【００４６】

以上より、表面ナノ構造と疎水性材料とを組み合わせることにより、ディフューザ１００の撥水性を大幅に向上させ、自浄作用を発現させることができる。これにより、ディフューザ１００の表面汚染に対する耐性を向上させることができる。

【００４７】

〔実施形態２〕

（ディフューザ１００ａの概略構成）

図７は、ディフューザ１００ａを示す斜視図である。ディフューザ１００ａは、凹凸構造２０に代えて凹凸構造２０ａが基板１の領域Ｒに形成されている点でディフューザ１００と相違する。凹凸構造２０ａは、凹凸構造２０と同様に、第１面１１に形成される第１凹凸構造２０１ａと、第２面１２に形成される第２凹凸構造２０２ａとを含む。また、凹凸構造２０ａは、凹凸構造２０と同様に、第１のレベルＨ１にある複数の凹部２１ａと第２のレベルＨ２まで突出した複数の凸部２２ａとを有する。

【００４８】

（凹凸構造２０ａの詳細な構成）

図８は、ディフューザ１００ａの凹凸構造２０ａを示す上面図である。凹凸構造２０ａでは、以下の点において凹凸構造２０と相違する。すなわち、凹凸構造２０においては、第１回折部の数の平均値は第２回折部の数の平均値より多いのに対して、凹凸構造２０ａにおいては、第１回折部の数の平均値は第２回折部の数の平均値と略等しい。これにより、ディフューザ１００ａは、光を等方的に拡散させることができる。

【００４９】

（凹凸構造２０ａの設計方法）

凹凸構造２０ａにおいては、まず、凹凸構造２０ａが形成される領域Ｒを、複数の区分領域ＤＲａに区分する。ここで、複数の区分領域ＤＲａは正方形であり、同一の形状を有する。また、複数の区分領域ＤＲａの辺の長さＷは、可視光線の波長よりも短くなるように設定される。次に、凹凸構造２０と同様に、複数の区分領域ＤＲａをそれぞれ、凹領域および凸領域のいずれかに、略等しい確率でランダムに決定する。これにより、第１回折部の数の平均値と第２回折部の数の平均値とを略等しくすることができる。

【００５０】

なお、実施形態１と同様に、製造過程において凹部２１ａおよび凸部２２ａの寸法は変化し得る。そのため、このような製造過程における凹部２１ａおよび凸部２２ａの寸法の変化を考慮して、複数の区分領域ＤＲａの辺の長さＷは決定されてもよい。すなわち、複数の区分領域ＤＲａの辺の長さＷは、製造後において全て略同一となるように設定される。図８は、設計段階における凹凸構造２０ａを示している。図８に示すように、設計段階においては、複数の区分領域ＤＲａの辺の長さＷは不均一であり得る。

【００５１】

（シミュレーション結果）

上述の設計方法により設計された凹凸構造２０ａを有するディフューザ１００の拡散性および透過性を検証するために、ディフューザ１００ａに光を入射したときの拡散パター

ンを算出する光学シミュレーションを行った。当該光学シミュレーションの結果、拡散光の半値幅は、Ｘ軸方向およびＹ軸方向で８３°を示した。これは、従来のディフューザに比べて拡散性の向上を達成しつつ、入射光の等方拡散を達成できたことを示している。

【００５２】

（拡散性および透過性に係る実測結果）

上述の製造方法により製造されたディフューザ１００ａの拡散性を検証するために、ディフューザ１００ａに光を入射したときの拡散パターンの実測を行った。

【００５３】

図９は、ディフューザ１００ａにより拡散された拡散光のスクリーン上への投影を示す図である。図９に示すように、ディフューザ１００ａに光を入射させると、入射光が等方的に拡散する等方拡散を示す拡散パターンが得られた。ここで、拡散光の半値幅は、Ｘ軸方向およびＹ軸方向で７８°を示した。これは、シミュレーション結果と同様に、従来のディフューザに比べて拡散性の向上を達成しつつ、入射光の等方拡散を達成できたことを示している。

【００５４】

以上より、ディフューザの表面構造を（第１辺の長さＷが均一な長方形の区分領域により規定される）凹凸構造２０（図４、図５参照）とすることにより、入射光を異方拡散させることができる。また、ディフューザの表面構造を（正方形の区分領域により規定される）凹凸構造２０ａ（図７、図８参照）とすることにより、入射光を等方拡散させることができる。従って、シンプルな設計により、入射光の拡散角の制御を行うことができる。

【００５５】

〔実施形態３〕

さらに、本発明者らは、参考形態に係るディフューザ１００ｓに代えて保護層２００を備えるディフューザ１００ｂを用いることにより、ディフューザの拡散性能を保持しつつ、表面ナノパターンを機械的衝撃から保護できることを見出した。実施形態３では、このようなディフューザ１００ｂについて説明する。

【００５６】

図１０は、ディフューザ１００ｂを示す断面図である。図１０に示すように、ディフューザ１００ｂは、基板１の凹凸構造２０，２０ａ上に配置される保護層２００をさらに備える。保護層２００は、ディフューザ１００ｂの表面を機械的衝撃から保護する。保護層２００は、量産性を考慮すると、例えば保護フィルム等であればよいが、これに限定されるものではない。

【００５７】

保護層２００の屈折率は、例えば基板１の屈折率の０．８５倍以上かつ１．２倍以下であればよい。これにより、基板１と保護層２００との屈折率コントラストを十分小さくすることができる。したがって、基板１と保護層２００との界面における光反射を抑制することができる。すなわち、基板１の表面に保護層２００を設けても、ディフューザ１００ｂの光学特性をほとんど変化させることはない。

【００５８】

また、基板１の材質がＰＤＭＳである場合、ＰＤＭＳの柔軟性および密着性により、保護層２００の形成は、保護層２００を基板１に隙間なく貼り付けるのみで完了する（接着処理は不要である）。

【００５９】

（拡散性および透過性に係る実測結果）

保護層２００を設けたディフューザ１００ｂの拡散性を検証するために、ディフューザ１００ｂに光を入射したときの拡散パターンの実測を行った。ここで、基板１としては凹凸構造２０が設けられたものを、保護層２００としてはカバーガラス（屈折率～１．５２）を使用した。

【００６０】

実測の結果として、可視光全域において８７％の透過率が得られた。また、拡散光の半

値幅は、広角方向（Ｘ軸方向）で７８°、狭角方向（Ｙ軸方向）で１６°を示した。これは保護層２００がない場合（実施形態１の実測結果）と比べて拡散性はほぼ変化せず、透過率についても６％低下しただけであった。これは図１０に示すように、保護層２００を形成しても回折を生じさせるナノスケールの界面は依然として存在するためである。また、基板１と保護層２００との屈折率コントラストを十分小さくしているためである。

【００６１】

（変形例）

第１面１１上に、同一の凹凸構造２０，２０ａが形成された複数の領域Ｒがあってもよい。この場合、各領域Ｒの大きさは、隣り合う領域Ｒに形成された凹凸構造２０，２０ａにより拡散される透過光が干渉を起こさない程度の大きさであればよい。

【００６２】

前記構成によれば、例えば窓ガラスにディフューザ１００，１００ａ，１００ｂを貼り付けるだけで、高透過率、広角拡散、および低波長分散を実現できる採光窓として窓ガラスを機能させることができる。すなわち、ディフューザ１００，１００ａ，１００ｂは、照明器具の消費エネルギーの削減に貢献できる。このような効果は、例えば、国連が提唱する持続可能な開発目標（ＳＤＧｓ）の目標７「エネルギーをみんなに　そしてクリーンに」等の達成にも貢献するものである。

【００６３】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【符号の説明】

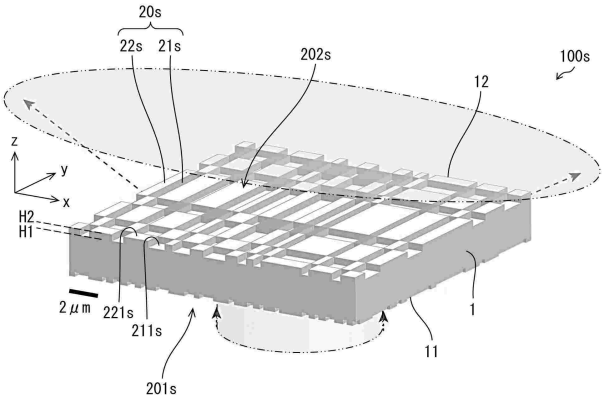
【００６４】

１　基板
２０，２０ａ　凹凸構造
２１，２１ａ　凹部
２２，２２ａ　凸部
１００，１００ａ，１００ｂ　ディフューザ
２００　保護層
２０１，２０１ａ　第１凹凸構造
２０２，２０２ａ　第２凹凸構造
２１１　底部
２２１　頂部

【図面】

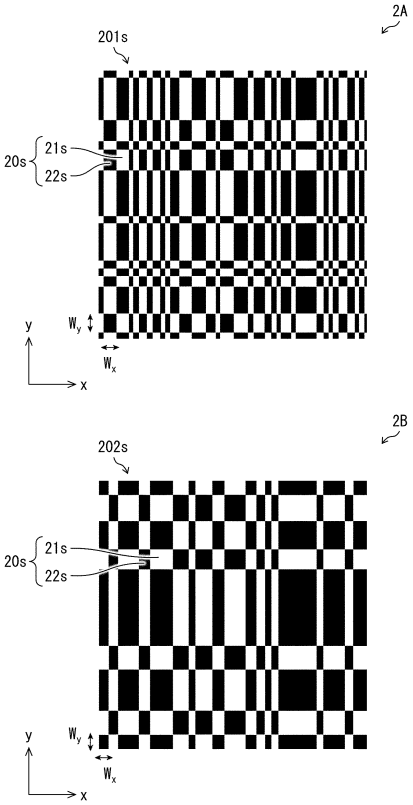
【図１】

図 1



【図２】

図 2



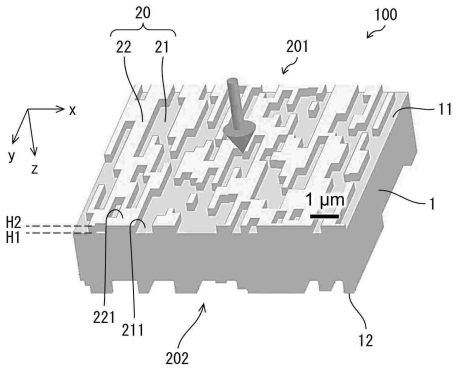
【図３】

図 3



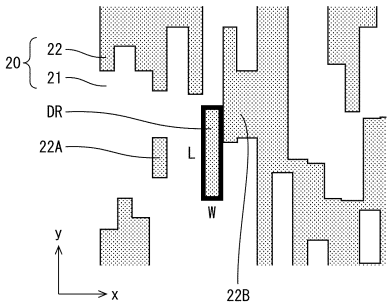
【図４】

図 4



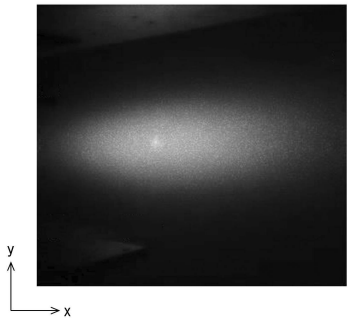
【図５】

図５



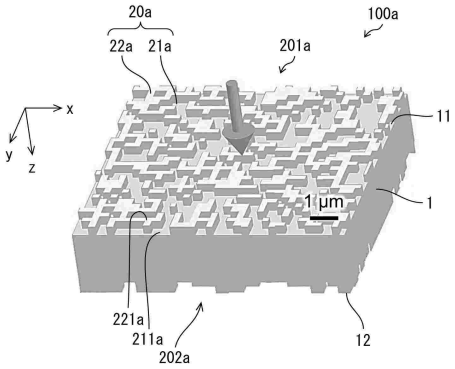
【図６】

図６



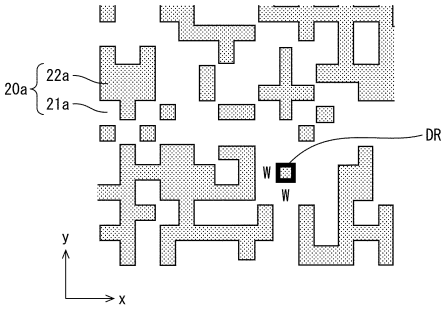
【図７】

図７



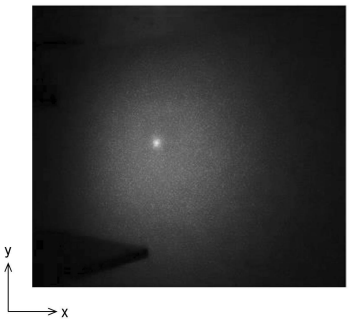
【図８】

図８



【図９】

図９



【図１０】

図１０

