

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 5 月 11 日 (11.05.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/075846 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02B 1/11 (2015.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/094991
- (22) 国际申请日: 2015 年 11 月 19 日 (19.11.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510737470.0 2015 年 11 月 4 日 (04.11.2015) CN
- (71) 申请人: 苏州大学 (SOOCHOW UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。
- (72) 发明人: 赖耘 (LAI, Yun); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。 姚忠琦 (YAO, Zhongqi); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。 罗杰 (LUO, Jie); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。
- (74) 代理人: 苏州市中南伟业知识产权代理事务所 (普通合伙) (CENTRAL SOUTH WELL INTEL-

LECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市工业园区若水路 388 号苏州纳米技术国家大学科技园 H-216 室 2 层, Jiangsu 215123 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

[见续页]

(54) Title: VISIBLE LIGHT WAVE BAND WIDE-ANGLE NON-REFLECTIVE COMPOSITE MATERIAL BASED ON IMPEDANCE MATCHING

(54) 发明名称: 基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料

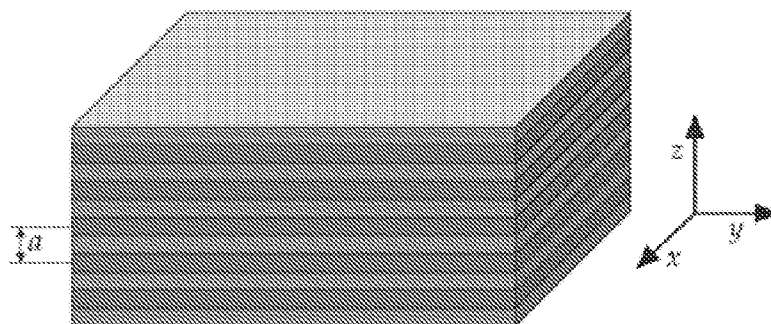


图 1

(57) Abstract: Provided is a visible light wave band wide-angle non-reflective composite material based on impedance matching, formed by optical plated coating materials having two different dielectric constants and periodically stacked in one direction. The visible light wave band wide-angle non-reflective composite material based on impedance matching has properties independent of broadband, wide-angle, and polarization, and may be used for protectively encapsulating a photovoltaic cell, significantly reducing photovoltaic-cell maintenance costs; furthermore, the visible light wave band wide-angle non-reflective composite material based on impedance matching is thin, thus reducing the weight of the apparatus and improving its portability, while also conserving materials and decreasing costs.

(57) 摘要: 一种基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料, 由两种不同介电常数的光学镀膜材料在一个方向上周期性堆叠形成。基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料具有宽频、宽角度、偏振无关的性质, 能够用来对太阳能电池进行保护封装, 大大减少太阳能电池的维护成本; 此外, 基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料的厚度薄, 可以减少装置的重量, 提高便携性, 同时也节省了材料, 降低了成本。

WO 2017/075846 A1



本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料

技术领域

本发明涉及一种无反射的透明复合材料，尤其涉及一种基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料。

背景技术

一般说来，可见光频段的无反射、完全透明材料的主要是增透减反膜，通过产生反射光波的干涉相消来实现无反射；在微波频段，通过阻抗连续渐变或是电磁共振的方法来实现无反射。但这些增透减反膜通常只能在较窄的波段以及较窄的角度范围内实现无反射和完全透明。此外，增透减反膜是一层覆盖在介质表面的薄膜，很容易由于风沙等外界环境因素而被破坏，真正意义上的无反射透明材料，其阻抗应与背景介质（如空气）完全匹配，从而实现与厚度无关的无反射透明属性。

现有的常见的增透材料主要包括两种：一是光学减反膜，二是无反射玻璃。

光学减反膜：通常光学减反膜可用于太阳能电池，增加透光率，但制作工艺较复杂且精细，适用的角度范围不宽，频率响应也较窄。常见的减反膜主要包括三种：电介质减反膜、渐变结构表面减反膜以及电磁超材料减反膜。电介质减反膜采用干涉相消原理，较易制备，缺点是所需光学厚度至少为四分之一波长，对于长波长的微波段来说，该减反膜往往会比较厚，且一般只能工作在窄频段、窄角度的范围；渐变结构表面减反膜是通过设计表面结构，让入射介质的阻抗连续过渡到出射介质的阻抗，从而减少甚至消除反射波，优点是可以工作在宽频和宽角度的范围，而缺点是厚度一般情况下比较厚，且实际制备难

度较大；电磁超材料减反膜是一种新型的减反膜，基于新型电磁材料，即电磁超材料，通过合适的设计，可以在电磁超材料中产生电共振和磁共振，从而实现反射相消，达到减反的目的，优点是厚度相比于前面的减反膜可以大大减小，而缺点是一般只能工作在窄频段、窄角度的范围，且通常会依赖于入射电磁波的偏振，此外，实际设计和制备难度很大。

无反射玻璃：利用一些金属氧化物浸泡在氟硅酸、二氧化硅过饱和的水溶液中，在玻璃表面形成一层硅质无反射层，用于艺术品封装或是太阳能集热器等，但制备流程易于污染环境，成品也较为粗糙，质量不高，一般只适用于正入射的情况，其原理也是光学减反膜。

现有技术的主要缺点在于：

1. 电介质减反膜不能实现宽频率和宽角度的减反效果，且有较高的参数要求和厚度要求；
2. 渐变结构减反膜虽然可以实现宽频率和宽角度的减反效果，但制备相对困难，且所需厚度较大；
3. 电磁超材料减反膜虽然可以做到很薄的厚度，但制备很困难，且一般不能实现宽频率和宽角度的减反效果。

且上述的光学减反膜与无反射玻璃共有的缺点是：由于增透材料覆盖在材料的表面，很容易由于风沙等外界环境因素而被破坏。

有鉴于上述的缺陷，本设计人，积极加以研究创新，以期创设一种新型结构的基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料，使其更具有产业上的利用价值。

发明内容

为解决上述技术问题，本发明的目的是设计光频段、宽角度、与偏振无关的无反射透明复合材料，该复合材料基于阻抗匹配原理，实现大角度范围内的无反射透明属性，频率响应较宽且易于制备，维护成本也较低，不仅可以用于太阳能电池板，还能替代无反射玻璃进行艺术品封装，减少环境污染。

为了达到上述目的，本发明采用的技术方案是提供一种基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料，由两种不同介电常数的光学镀膜材料在一个方向上周期性堆叠形成。

进一步的，两所述光学镀膜材料分别为二氧化硅、二氧化钛。

进一步的，两所述光学镀膜材料按交替方式周期性堆叠。

借由上述方案，本发明的基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料，适用于较宽频段宽角度的可见光波，根据本发明，可以设计出宽频、宽角度、偏振无关、超薄的光波段超透膜；由于本发明的基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料具有宽频、宽角度、偏振无关的性质，能够极大促进太阳能电池的发展，适用范围广泛，满足多方面的需求；此外，根据本发明设计的超透膜具有超薄性，可以减少装置的重量，提高便携性，同时也节省了材料，降低了成本。

上述说明仅是本发明技术方案的概述，为了能够更清楚了解本发明的技术手段，并可依照说明书的内容予以实施，以下以本发明的较佳实施例并配合附图详细说明如后。

附图说明

图 1 是本发明的结构示意图；

图 2 是本发明的最小周期的结构示意图；

图 3 是本发明的最小周期结构在四分之一 k 空间中的等阻抗曲线分布；

图 4 是图 3 等阻抗曲线分布对应的等频率曲线图；

图 5(a)是结构模拟图，图 5(b)表示仅含 ϵ_1 时的全角度透射响应与频率响应，图 5(c)表示仅含 ϵ_2 时的角度与频率响应的透射情况；

图 6 是复合材料在 TE(a)和 TM(b)两种偏振波下的频率与角度响应透射图。

具体实施方式

下面结合附图和实施例，对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明，但不用来限制本发明的范围。

本发明一较佳实施例所述的一种基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料，由二氧化硅（ SiO_2 ，介电常数为 $\epsilon_1 = 2.132$ ）与二氧化钛（ TiO_2 ，介电常数为 $\epsilon_2 = 5.522$ ）在一个方向上按交替方式周期性堆叠形成。如图1所示，二氧化硅与二氧化钛材料排布为ABABABABA·····，只在z方向上呈周期排列， $d_{AB}=a$ ，a指周期长度。

为测试电磁波进入本发明的复合材料时的阻抗，用 COMSOL Multiphysics 软件来进行理论模拟，它是一款以有限元法为基础的多物理场模拟软件。

为简化运算，我选取出一个最小周期性重复单元来进行研究，如图 2 所示。

宽频、宽角度的超透复合材料即意味着其阻抗能与背景阻抗完全匹配，由于选取的是一种对称结构，电场（或磁场）在其边界处的分布是均匀的，依据电动力学对阻抗的定义，用如下关系式来求出电磁波进入该复合材料时的阻抗

$$(1)$$

Z 表示阻抗，E、H 分别表示电场和磁场强度，x 表示入射方向，y 表示垂

直于入射方向， z 垂直于 xy 平面，PC 表示该材料的简称光子晶体（Photonic Crystals）。同时空气阻抗可以通过麦克斯韦方程组求得

(2)

ω 表示圆频率， μ_0 表示真空中的磁导率，图 3 为该周期结构在四分之一 k 空间中的等阻抗曲线分布，可以看到，黑色最深处的区域即代表光子晶体阻抗与空气阻抗相等的地方，对应到该结构的等频率曲线中，如图 4 所示，其中颜色深浅表示频率大小，黑实线表示阻抗完全匹配时的频（ $f=1.75e^6*c=5.25e^{14}Hz$ ， $c=3e^8$ ），在图 4 横轴上 0.4 至 0.6 范围内的频率也几乎可以使得其阻抗与空气基本匹配，实现在光频段对光波的宽角度宽频任意偏振的无反射透明属性。

参见图 5(a)所示的是结构模拟图，周期 $a=0.25\mu m$ ，其中浅灰色表示 ϵ_1 部分， $\epsilon_1 = 2.132$ ， $d_1=0.6a$ ，深灰色表示 ϵ_2 部分， $\epsilon_2 = 5.522$ ， $d_2=0.4a$ ， θ 表示入射角，图 5(b)表示仅含 ϵ_1 时的全角度透射响应与频率响应（10 层透射），图 5(c)表示仅含 ϵ_2 时的角度与频率响应的透射情况（同样是 10 层透射）。可以看到在可见光波段，仅两种介质（即光学镀膜材料）时的透射并不连续，高透部分的角度也很窄，而当把两种介质排布成如图 5(a)这样的周期结构时（10 层堆叠），频率间的透射不连续可以消除一部分，相应的超透角度范围也变宽，如图 6 所示。可以看到，只需将两种介质在一个方向上进行周期堆叠后，该结构对于可见光波能实现 400THz 至 600THz、 0° 至 60° 的宽频宽角度超透，透射率几乎为 1，尤其是在 465THz 频率附近（图 3 和图 4 所示），该结构阻抗与背景阻抗（空气）完全匹配，实现近 0° 至 80° 的超透。

根据本发明形成的多层介质薄膜的制备较容易，选取的材料主要是二氧化

硅 (SiO_2 , $\varepsilon_1 = 2.132$), 二氧化钛 (TiO_2 , $\varepsilon_2 = 5.522$), 均是常用的光学镀膜材料, 该结构对于太阳能电池外部保护封装, 提高电池对环境的耐受性有显著的作用, 同时厚度超薄, 十分轻便, 大大降低了维护成本。

以上所述仅是本发明的优选实施方式, 并不用于限制本发明, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明技术原理的前提下, 还可以做出若干改进和变型, 这些改进和变型也应视为本发明的保护范围。

- 1、一种基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料，其特征在于：
由两种不同介电常数的光学镀膜材料在一个方向上周期性堆叠形成。
- 2、根据权利要求 1 所述的基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料，其特征在于：两所述光学镀膜材料分别为二氧化硅、二氧化钛。
- 3、根据权利要求 2 所述的基于阻抗匹配的可见光波段宽角度无反射复合材料，其特征在于：两所述光学镀膜材料按交替方式周期性堆叠。

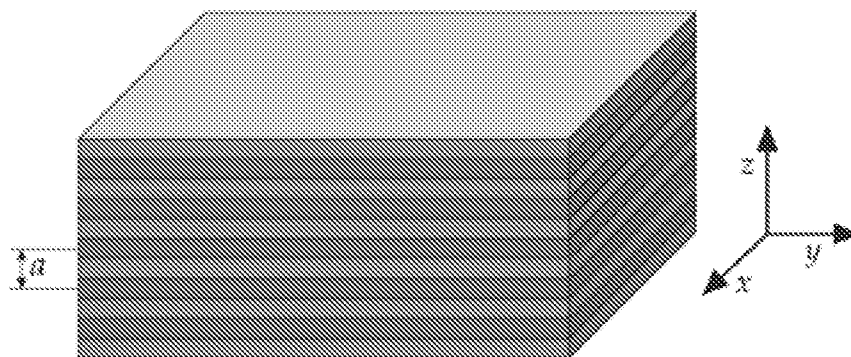


图 1



图 2

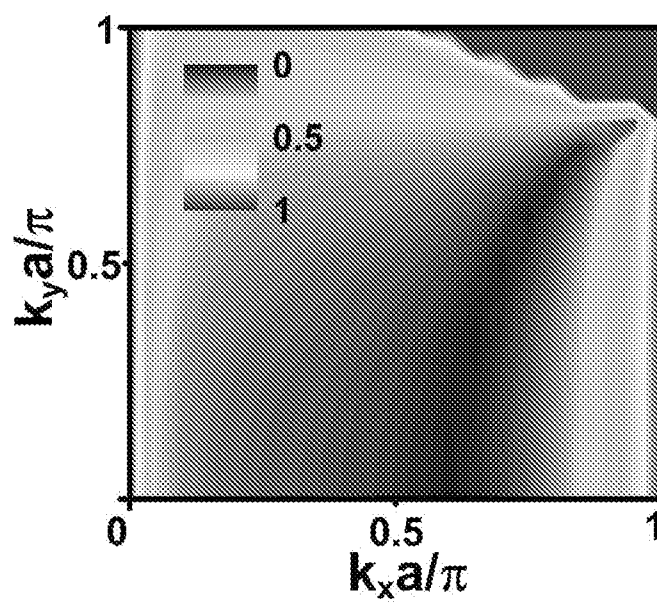


图 3

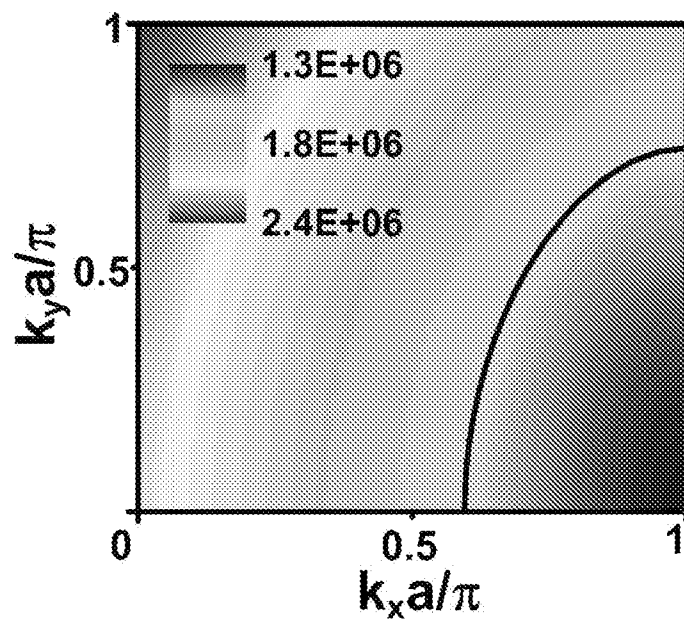


图 4

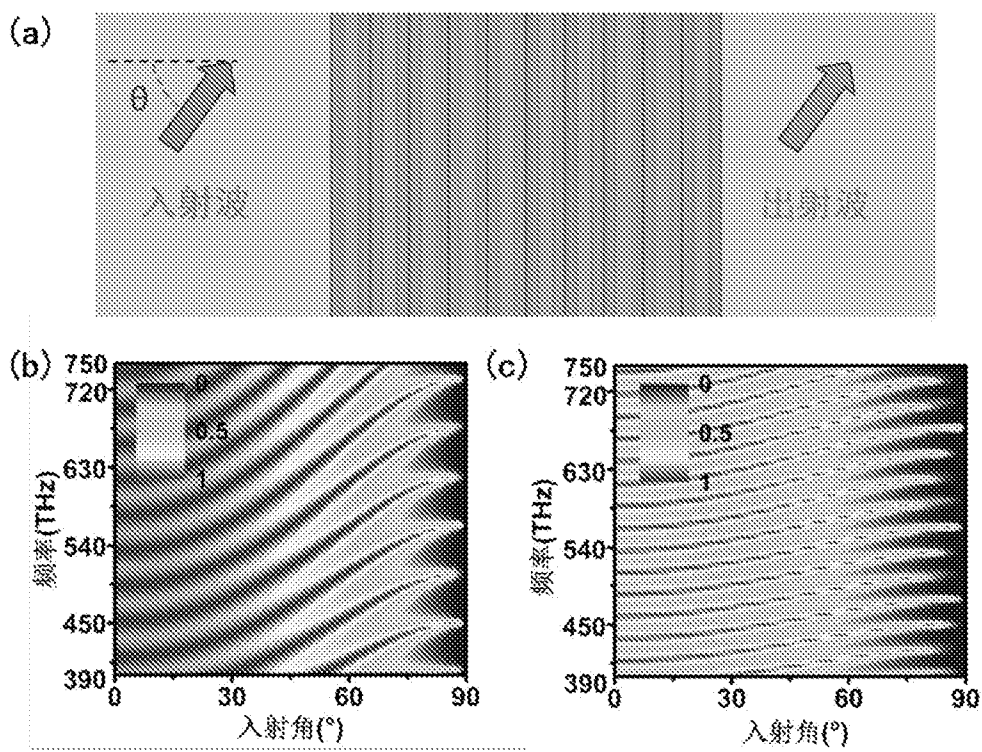


图 5

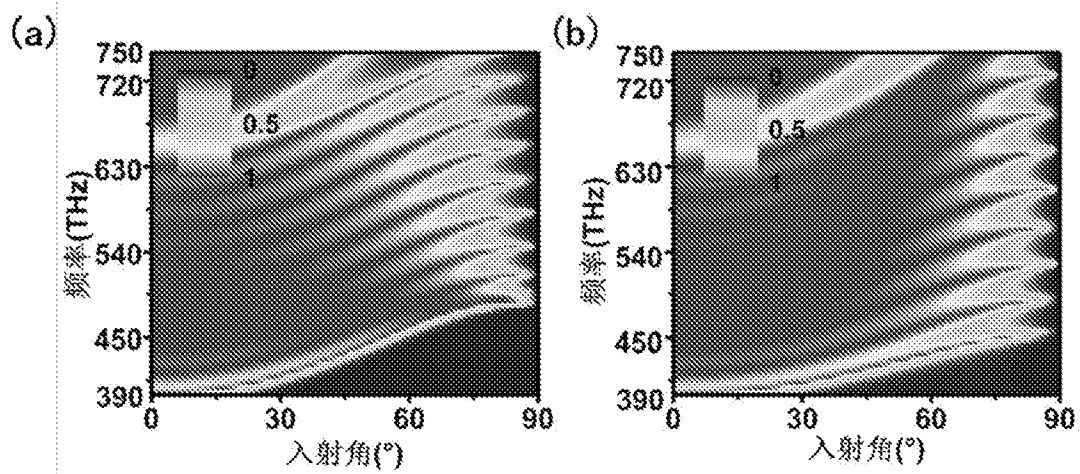


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/094991

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 1/11 (2015.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, CNABS: Anti-reflection, low refractive index, silicon dioxide, titanium dioxide, SiO₂, TiO₂

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 203164459 U (SUZHOU W-OLF PHOTOELECTRIC TECHNOLOGY CO., LTD.) 28 August 2013 (28.08.2013) description, paragraphs [0002]-[0019] and figures 1 and 2	1-3
X	CN 101750641 A (HONGFUJIN PRECISION INDUSTRY (SHENZHEN) CO., LTD. et al.) 23 June 2010 (23.06.2010) description, paragraphs [0014]-[0017] and figure 1	1-3
X	CN 101556344 A (HONGFUJIN PRECISION INDUSTRY (SHENZHEN) CO., LTD. et al.) 14 October 2009 (14.10.2009) description, page 1, paragraph 4 to page 3, paragraph 2 and figures 1 and 2	1-3
X	JP 2002014203 A (CANON K.K.) 18 January 2002 (18.01.2002) description, paragraphs [0006]-[0034] and figures 2 and 7	1-3
A	CN 204028389 U (NANJING SIMITE OPTICAL INSTRUMENTS CO., LTD.) 17 December 2014 (17.12.2014) the whole document	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 01 August 2016	Date of mailing of the international search report 12 August 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LIU, Yali Telephone No. (86-10) 62085548

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/094991

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 203164459 U	28 August 2013	None	
CN 101750641 A	23 June 2010	US 2010149642 A1	17 June 2010
		US 7924501 B2	12 April 2011
CN 101556344 A	14 October 2009	US 7855000 B2	21 December 2010
		US 2009258223 A1	15 October 2009
JP 2002014203 A	18 January 2002	None	
CN 204028389 U	17 December 2014	None	

A. 主题的分类 G02B 1/11 (2015.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G02B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) VEN, CNABS: 低反射率, 增透, 二氧化硅, 二氧化钛, Anti-reflection, low refractive index, silicon dioxide, titanium dioxide, SiO ₂ , TiO ₂		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 203164459 U (东莞五方光电科技有限公司) 2013年 8月 28日 (2013 - 08 - 28) 说明书第[0002]-[0019]段, 图1-2	1-3
X	CN 101750641 A (鸿富锦精密工业深圳有限公司 等) 2010年 6月 23日 (2010 - 06 - 23) 说明书第[0014]-[0017]段, 图1	1-3
X	CN 101556344 A (鸿富锦精密工业深圳有限公司 等) 2009年 10月 14日 (2009 - 10 - 14) 说明书第1页第4段-第3页第2段, 图1-2	1-3
X	JP 2002014203 A (CANON KK) 2002年 1月 18日 (2002 - 01 - 18) 说明书第[0006]-[0034]段, 图2, 7	1-3
A	CN 204028389 U (南京施密特光学仪器有限公司) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17) 全文	1-3
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2016年 8月 1日		国际检索报告邮寄日期 2016年 8月 12日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		授权官员 刘亚利 电话号码 (86-10) 62085548

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/094991

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	203164459	U	2013年 8月 28日	无			
CN	101750641	A	2010年 6月 23日	US	2010149642	A1	2010年 6月 17日
				US	7924501	B2	2011年 4月 12日
CN	101556344	A	2009年 10月 14日	US	7855000	B2	2010年 12月 21日
				US	2009258223	A1	2009年 10月 15日
JP	2002014203	A	2002年 1月 18日	无			
CN	204028389	U	2014年 12月 17日	无			