



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I856969 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：108129700

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 08 月 20 日

(51)Int. Cl. : *H01L31/0232(2014.01)**H01L31/0248(2006.01)**H01L31/0256(2006.01)*

(30)優先權：2018/08/20

美國

62/720,002

(71)申請人：美商像素艾克斯系統公司(美國) PIXELEXX SYSTEMS, INC. (US)

美國

(72)發明人：布雷德利 肯尼斯 佛貝斯 BRADLEY, KENNETH FORBES (US)；納東 馬可
NARDONE, MARCO (US)；卡德 瑞奈 卡斯林 CARDER, RENEE KATHRYN
(US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201230376A

CN 107924955A

US 20110284723A1

US 2009/0273779A1

US 2012/0319223A1

期刊 Jie Xue, Yu Gu, Qingsong Shan, Yousheng Zou, Jizhong Song, Leimeng Xu, Yuhui Dong, Jianhai Li, Haibo Zeng "Constructing Mie-Scattering Porous Interface-Fused Perovskite Films to Synergistically Boost Light Harvesting and Carrier Transport" Angewandte Chemie no.19/Vol.56 Wiley-VCH 07 April 2017 Pages 5232-5236

審查人員：陳穎慧

申請專利範圍項數：21 項 圖式數：11 共 63 頁

(54)名稱

米氏光感測器

(57)摘要

本發明描述一種米氏(Mie)光感測器。一米氏光感測器經組態以利用米氏散射來實施具有一共振之一光感測器。該共振係基於該米氏光感測器之各種物理及材料性質。在一實例中，一米氏光感測器包含具有一或多個台面之一層半導體材料。半導體材料之各台面可包含一散射中心。該散射中心由該台面之該半導體材料形成，該台面之該半導體材料至少部分由具有不同於該半導體材料之一折射率之一材料包圍。該等鄰接折射率材料產生形成一散射中心且在米氏共振期間定位自由載子之產生的一界面。可使一或多個電接點至該台面以量測該台面之電性質。

A Mie photo sensor is described. A Mie photo sensor is configured to leverage Mie scattering to implement a photo sensor having a resonance. The resonance is based on various physical and material properties of the Mie photo sensor. In an example, a Mie photo sensor includes a layer of semiconductor material with one or more mesas. Each mesa of semiconductor material may include a scattering center. The scattering center is formed by the semiconductor material of the mesa being at least partially surround by a material with a different refractive index than the semiconductor material. The abutting refractive index

materials create an interface that forms a scattering center and localizes the generation of free carriers during Mie resonance. One or more electrical contacts may be made to the mesa to measure the electrical properties of the mesa.

指定代表圖：

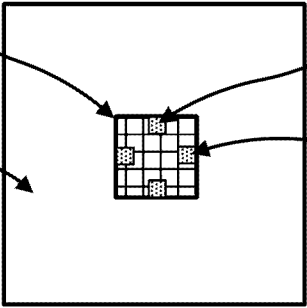
米氏光感測器
310

台面
320

基板
330

接點
350A

接點
350B



【圖3A】

符號簡單說明：

310:米氏(Mie)光感測器

320:台面

330:基板

350A:歐姆(Ohmic)接點

350B:肖特基(Schottky)接點



公告本

I856969

【發明摘要】

【中文發明名稱】

米氏光感測器

【英文發明名稱】

MIE PHOTO SENSORS

【中文】

本發明描述一種米氏(Mie)光感測器。一米氏光感測器經組態以利用米氏散射來實施具有一共振之一光感測器。該共振係基於該米氏光感測器之各種物理及材料性質。在一實例中，一米氏光感測器包含具有一或多個台面之一層半導體材料。半導體材料之各台面可包含一散射中心。該散射中心由該台面之該半導體材料形成，該台面之該半導體材料至少部分由具有不同於該半導體材料之一折射率之一材料包圍。該等鄰接折射率材料產生形成一散射中心且在米氏共振期間定位自由載子之產生的一界面。可使一或多個電接點至該台面以量測該台面之電性質。

【英文】

A Mie photo sensor is described. A Mie photo sensor is configured to leverage Mie scattering to implement a photo sensor having a resonance. The resonance is based on various physical and material properties of the Mie photo sensor. In an example, a Mie photo sensor includes a layer of semiconductor material with one or more mesas. Each mesa of semiconductor material may include a scattering center. The scattering center is formed by the semiconductor material of the

mesa being at least partially surround by a material with a different refractive index than the semiconductor material. The abutting refractive index materials create an interface that forms a scattering center and localizes the generation of free carriers during Mie resonance. One or more electrical contacts may be made to the mesa to measure the electrical properties of the mesa.

【指定代表圖】

圖3A

【代表圖之符號簡單說明】

- | | |
|------|-----------------|
| 310 | 米氏(Mie)光感測器 |
| 320 | 台面 |
| 330 | 基板 |
| 350A | 歐姆(Ohmic)接點 |
| 350B | 肖特基(Schottky)接點 |

【發明說明書】

【中文發明名稱】

米氏光感測器

【英文發明名稱】

MIE PHOTO SENSORS

【技術領域】

【0001】 本發明大體上係關於一種光敏裝置，且更特定而言，本發明係關於一種用於產生影像之光敏裝置陣列。

【先前技術】

【0002】 習知光感測器依其中與入射光相互作用之感測器元件遠大於光波長之大小比例操作。例如，用於感測可見波長處之光的光感測器係微米級大小。在此等大小處，史奈爾(Snell)折射定律適用，且一光感測器上之入射光之吸收遵循比爾-朗伯(Beer-Lambert)定律。已多次嘗試設計使其實體大小最小化之光感測器，但所得光感測器通常具有諸多缺點。例如，當使用減小大小之光感測器來產生影像時，信雜比、動態範圍、景深及焦深全部劣化。因此，能夠產生高品質影像之一減小光感測器將係有益的。

【發明內容】

【0003】 本發明描述一種米氏(Mie)光感測器。一米氏光感測器利用米氏散射來產生相對於習知光感測器技術之改良光電流，如本文中所描述。一米氏光感測器包括一材料之一基板(即，一材料層)，諸如一半導體或一絕緣體。該材料層具有一第一折射率且包括半導體材料之一台面。該

台面經組態以回應於一電磁擾動(例如入射光、X射線等等)而產生該半導體材料內之自由載子。

【0004】 該米氏光感測器亦包括包圍該材料層之一折射介質。該折射介質可具有一複折射率。該折射介質鄰接該台面且形成一界面及跨該界面之一不連續折射率。另外，該折射介質界定一電磁散射中心(例如該台面或該台面之某一部分)，其經組態以經由光吸收該散射中心處之一電磁擾動來產生自由載子。此外，該吸收具有基於該散射中心之該組態之一共振。

【0005】 在一實例性實施例中，米氏光感測器之折射分佈係描述如下：該材料層具有一第一折射率，半導體材料之該台面具有一第二折射率，且該折射介質具有一第三折射率。該折射介質之該折射率一般為複數且可跨該台面與該折射材料之間的邊界不連續。此外，在一些實例中，該第三折射率小於該第一折射率及該第二折射率。在額外實例中，該第一折射率相同於該第二折射率。

【0006】 在一實例性實施例中，半導體層之該台面形成具有鄰接該折射介質之一組邊界的一幾何形狀(例如一矩形稜柱、一立方體等等)。因而，該電磁散射中心形成於該形狀之該等邊界處或該形狀之該等邊界內，使得該電磁散射中心包括該台面之半導體材料之某一部分(或所有)。

【0007】 在一實例性實施例中，該材料層包括矽且該台面包括摻雜矽。在另一實例性實施例中，該材料層包括二氧化矽且該台面包括矽。具有其他材料之其他實例性實施例亦可行。

【0008】 該散射中心之各種物理特性影響何種電磁擾動由該散射中心之該材料吸收且藉此產生自由載子。例如，該台面之尺寸及大小可影響

可由該散射中心吸收之電磁擾動之波長及偏振。

【0009】 該米氏光感測器亦包括一或多個電接點，其等耦合至該台面且經組態以感測回應於該電磁擾動而產生於該散射中心內之自由載子。可存在接點之若干實例性組態。在一第一實例中，一第一接點與該台面形成一歐姆接觸且一第二接點與該台面形成一肖特基(Schottky)能障。在一第二實例中，一第一接點與該台面形成一歐姆接觸且一第二接點與該台面形成一p-n接面。在一第三實例中，一第一接點及一第二接點與半導體材料之該台面形成一歐姆接觸。在此情況中，該米氏光感測器包含該折射材料與半導體材料之該台面之間的一邊界處之一p-n接面。

【0010】 該米氏光感測器可依一共振操作，其中該共振係基於本文中所描述之任何因數。例如，該電磁散射中心吸收一共振能階處之電磁擾動之一特定波長且產生對應於該共振能階之一第一自由載子量。另外，該電磁散射中心吸收一非共振能階處之電磁擾動之一不同波長且產生對應於該非共振能階之一第二自由載子量。在此情形中，該第一自由電子量大於該第二自由電子量。

【0011】 此外，一米氏光感測器經組態以定位一散射中心中之載子產生，如本文中所描述。即，該電磁散射中心中之電磁擾動之吸收高於該半導體層及該折射介質兩者中之電磁擾動之吸收。例如，由該電磁散射中心中之電磁擾動之吸收產生之一第一自由載子量大於由該等半導體層中之電磁擾動產生之一第二載子量。

【0012】 另外，該米氏光感測器可連接至各種控制電子器件以產生一像素。多個像素可彼此連接以形成一影像感測器。由於本文中所描述之各種原因，包含由米氏光感測器產生之像素的一影像感測器比其習知對應

物更佳操作。

【圖式簡單說明】

【0013】 本發明之實施例具有將易於自結合附圖之以下詳細描述及隨附申請專利範圍明白之其他優點及特徵，其中：

【0014】 圖1A至圖1H繪示根據若干實例性實施例之一系列共振圖。

【0015】 圖2繪示根據一實例性實施例之一直線米氏光感測器之一吸收功率圖。

【0016】 圖3A繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器之俯視圖。

【0017】 圖3B繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器之一側視圖。

【0018】 圖4繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器之一電壓回應圖。

【0019】 圖5係根據一實例性實施例之一電壓多回應圖。

【0020】 圖6繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器之一橫截面場圖600。

【0021】 圖7繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器。

【0022】 圖8係根據一實例性實施例之一米氏光感測器之一橫截面場圖。

【0023】 圖9繪示根據一實例性實施例之一電壓多回應圖。

【0024】 圖10A至圖10C繪示根據一些實例性實施例之一米氏光感測器之各種組態。

【0025】圖11A至圖11E繪示根據各種實例性實施例之包含一或多個米氏光感測器之一影像感測器中之一像素之若干不同組態。

【0026】圖式所描繪之各種實施例僅供說明。熟習技術者將易於自以下討論認識到，可在不背離本文中所描述之原理之情況下採用本文中所繪示之結構及方法之替代實施例。

【實施方式】

【0027】

相關申請案之交叉參考

本申請案主張2018年8月20日申請之美國臨時申請案第62/720,002號之權利，該案之全文以引用的方式併入。

【0028】

政府權利說明

本發明根據由美國國家科學基金會授予之聯邦獎識別號1660145受政府支援。政府對本發明具有特定權利。

I. 引言

【0029】光感測器陣列由包含諸多像素之一表面組成，其中各像素可包括一光感測器及一般與各光感測器大致共置之信號收集電子器件。各像素藉由偵測特定波長處之光子且接著產生與各像素處所偵測到之光子數相關之一電荷、電壓或電阻來操作。接著，量測、數位化及使用此電荷、電壓或電阻以建構發射或反射光子之物體、場景或現象之一影像。光感測器亦可部署為單一偵測器或一偵測器陣列用於成像。

【0030】未來光感測器技術採用可由(例如)如下三個主要理念推進：i)影像品質(例如解析度、低光效能、多光譜成像等等)；ii)像素三維

大小；及iii)裝置功能(例如高速視訊、影像分析、運動控制、成本、大小、重量及功率(SWaP)等等)。此等各領域之創新包含每個階層之設計決策。實例性設計決策可包含(例如)光感測元件之結構及裝置物理性(即，光子偵測)、像素之基本操作(即，信號擷取、儲存及轉移)及成像陣列之設計及操作(即，影像讀出及信號處理)。

【0031】 在此等各階層處，存在提高效能之重大挑戰，例如，挑戰可包含改良一組裝置、裝置程序及由該等裝置製成之一電路(或若干電路)之間的效能權衡。此外，隨著影像處理進入其中設計重點超越影像資料而至資訊中心影像感測器(例如運算影像感測器、嵌入智慧型視覺系統中之矽視網膜等等)之一新時代，挑戰變得越來越明顯。影像感測器之市場動因迫切需要嵌入式電腦視覺預處理功能、改良回應時間及最小化SwaP用於包含無線感測器網路、無人值守監管網路、汽車、物聯網及其他可攜式視覺應用之大量視覺系統。

II. 當前光感測器技術、最佳化及權衡

II.A 光感測器之結構及裝置物理性

【0032】 為使可見光成像，基本光感測程序開始於一半導體中之光吸收。光譜之x射線、紫外線及紅外線部分之成像程序大體上類似。吸收光產生一電子-電洞對且組成電子及電洞藉由半導體中之一空乏區域中之一電場來空間分離。可藉由變動一半導體系統(例如一半導體接面)之性質或使用一半導體-金屬接面(例如一肖特基接面)來形成空乏區域。

【0033】 習知光感測器操作於物理光學之領域中，其中與入射光相互作用之個別感測器比光波長大得多。在此體系中，史奈爾折射定律適用，輻射吸收遵循比爾-朗伯定律，且散射與散射元件之投影實體面積成

比例。為使光偵測器在此體系中充當一有效光吸收器，包括光感測器之半導體必須具一定光學厚度。即，一光子在一半導體層中被吸收之概率係：

$$1 - e^{-\alpha d} \quad (1)$$

其中 α 係取決於入射光之波長及吸收材料之組合物兩者之一吸收係數，且 d 係沿入射光方向之層厚度。一最小層厚度之一有用估計係 α^{-1} ，其中約60%之入射光在光感測器中被吸收。

【0034】 矽係可見光光感測器之一通用且經濟可行之半導體材料。在可見光譜中，矽之吸收係數自390 nm處之約 10^5 cm^{-1} 變動至700 nm處之約 10^3 cm^{-1} 。矽之吸收係數指示一半導體厚度應為約1 μm 以吸收約60%之入射光。

【0035】 約1 μm 之一半導體厚度給改良影像感測器帶來若干問題(例如大小、回應等等)。一問題源於商業可行半導體製程依賴光微影。光微影最佳用於平面或準平面結構，例如具有約為或大於垂直特徵(即，超出平面)之平面特徵之大致平面結構(例如光感測器)。因此，因為用於一矽之良好吸收之垂直尺寸係約1 μm ，所以平面光感測器尺寸亦大體上為約1 μm 。因此，儘管可稍微減小平面尺寸，但光感測器大小難以實質上減小至小於1 μm 。源於厚感測器之另一問題係厚感測器限制使用堆疊陣列之垂直層之可能性。例如，具有三個感測器陣列(各具有1 μm 之一厚度)之一堆疊產生3 μm 之一堆疊高度。在此情況中，可因堆疊之厚度而減少一或多個層中之光吸收。然而，若可實施實質上薄於1 μm 之堆疊陣列，則可預見各種益處。例如，一厚層堆疊將允許解卷積相關聯成像光學器件中之色差。

【0036】 光感測器亦可使用具有較高吸收係數之其他材料。作為一

實例，在可見光譜中，砷化鎵之吸收係數在自約 10^5 cm^{-1} 至約 10^6 cm^{-1} 之範圍內。此表明，一 $0.1 \text{ }\mu\text{m}$ 厚半導體將給予 $1/e$ 吸收概率。然而，砷化鎵仍存在若干缺點。例如，砷化鎵係半導體工業第二最常用之半導體且一般比矽貴很多。另外，依顯著小於 $1 \text{ }\mu\text{m}$ 之長度尺度製造砷化鎵特徵非常有挑戰且商業上不常實施。最後，產生至具有顯著小於 $1 \text{ }\mu\text{m}$ 之尺寸之砷化鎵之歐姆接觸(用於電連接)很困難且已展現無法令人接受之低良率。

【0037】 提高光敏陣列之成像效能之一方式係製造大像素，同時使總像素計數保持恆定。用於一些科學應用中之攝影機包含具有 $15 \text{ }\mu\text{m}$ 或更大之線性尺寸之像素。此等大像素大小能夠改良動態範圍及雜訊。然而，較大像素大小違背當前市場動因且以攝影機大小及費用兩者為代價。為維持使用由 $1 \text{ }\mu\text{m}$ 像素組成之一感測器陣列之一攝影機之類似成像性質，具有 $15 \text{ }\mu\text{m}$ 像素之一偵測器具有擴大約200倍之一面積且成像光學器件體積擴大約3000倍。此等兩個牽涉因數(例如大小及體積)嚴重限制用於改良光感測器之此一解決方案之可利用範圍。例如，實際上，實施顯著較大像素通常伴隨像素計數減少、最大視域減小或兩者。

【0038】 用於提高光感測器效能之另一方法係藉由利用光感測器中之突崩效應來提高光感測器光敏度(例如低光強度量測)。即，使用施加電壓來產生半導體中之高電場且回應性發生光敏度提高。高場使光生載子加速至顯著高於原本達成之速度的速度。後續碰撞產生額外自由載子，其繼而被加速。因此，單入射光子可產生一實質輸出信號。儘管此等光感測器可達成非常高敏感度，但其通常依產生0 dB之一動態範圍之蓋革(Geiger)模式操作。否則，此等裝置依可給予高達60 dB之一動態範圍之比例模式操作，但僅針對約1個至約1000個光子/量測間隔之一入射強度範圍。

【0039】 亦已探索電漿子材料作為用於放大入射於光感測器上之光之一方法。在此情況中，光感測器產生電子之表面激發以使導體能夠強力吸收且隨後再輻射入射光。電漿子利用可經調適以優先與入射波長及偏振之特定組合相互作用之強共振。迄今為止，電漿子無法實現增強光感測能力且電漿子光感測器經歷大耗散損失。

【0040】 另外，儘管電漿子感測器具有大耗散損失，但已發展促成入射光集中於相鄰於支援電漿子激發之系統之區域中的電漿子系統。作為一實例，已展示用於將光集中於電洞內之具有次波長級部分或貫穿電洞之導電金屬板。圍封於一層低折射率絕緣材料(諸如二氧化矽)中之米氏光感測器可與此等電漿子系統組合以增強偵測。另外，應注意，具有等於或低於入射光波長之一或多個尺寸參數且相鄰於米氏光感測器之其他金屬系統可具有一類似效應。作為一實例，此可藉由調整米氏光感測器上之金屬接點之形狀、大小或間隔來達成。

【0041】 提高影像品質及縮小像素大小可推進未來光感測器技術採用。然而，大量此等驅動器充滿負面影響光學及電效能之限制器之間的權衡。例如，減小像素節距(像素之中心間距 p)可影響推進光感測器發展之若干度量之比例因數，如表1中所展示。

信雜比	$\sim p^{-1}$
動態範圍	$\sim p^{-2}$
景深	$\sim p^{-1}$
焦深	$\sim p^{-1}$

表1

儘管存在減小像素大小之強大市場動因，但如此等參數相依性所表明，此

一減小會降低其他區域之效能。

【0042】 一般而言，自小像素提高總影像感測器效能已聚焦於增加信號及減少雜訊。已藉由改良陣列層級處之像素設計及處理技術來進行大量最佳化。

II.B 一像素之基本操作

【0043】 一像素由一個別光感測器及用於操作及讀取光感測器之信號收集電子器件組成。一般而言，信號收集電子器件與各光感測器共置。自由一半導體吸收之光產生之信號可自量測產生電荷載子之數量獲取(一電荷收集或短路模式)，或其可自量測跨空乏區域之電壓獲取(一電壓或開路電壓模式)。在第一情況中，產生信號與入射光強度成比例，且在第二情況中，產生信號與入射光強度之對數成比例。

【0044】 一般而言，成像系統中之光感測器依電荷收集模式操作。依電荷收集模式操作允許光感測器線性回應入射光以方便用於影像處理之資料處置，且進一步允許光感測器對低入射光強度更敏感。在電荷收集模式中，光感測器中所產生之電荷收集於一固定積分時間窗期間且與該窗期間所累積之總電荷成比例之一電信號係報告量測。如先前所描述，一光感測器可收集之電荷與感測器之面積成比例。因而，隨著光感測器面積減小，感測器之動態範圍之上端與像素線性大小之平方成比例下降。為抵消此效應，積分時間可隨像素大小之平方減少。此一時間減少減小低光敏感度且增加感測器及相關聯電子器件兩者之複雜性及功率需求。另外，隨著電荷收集模式光感測器縮小，其內部漏電流與飽和電流成比例增加。此漏電流充當一雜訊源，且值得一提的是，雜訊源設置感測器之動態範圍之下端之一底限。此等兩個效應一起限制總動態範圍，其繼而轉化成可由成像系

統擷取之場景對比之限制。當前成像系統大體上展現60 dB至70 dB之間的動態範圍以指示其擷取光強度之約 $3\frac{1}{2}$ 個十進數之變動。

【0045】 成像系統中之光感測器可使用其他方式來自由一光感測器吸收之光產生改良信號。例如，已在電荷收集模式中使用主動像素概念、釘紫光二極體像素及相關雙取樣方法來提高光敏度且減少雜訊。然而，儘管努力提高光敏度，但在需要長積分時間及低照明之應用中，暗電流仍為小像素之一突出因數。另外，即使技術突破能夠進一步減少雜訊源，但信雜比一般會隨著像素大小減小至低於1微米之尺寸而繼續惡化。

【0046】 填充因數(即，一像素中光敏面積之百分比)直接影響一感測器之敏感度及擷取影像之信雜比。一給定像素中電晶體之數目與其填充因數之間存在一反比關係。在一實例中，具有一釘紫光二極體之一主動像素之特徵在於各像素中之4個電晶體及5個互連件，其導致其中像素內電路相對於光感測面積佔用大量空間之一相對較低填充因數。可藉由共用多個像素之間的一些控制電路來緩解低填充因數，然而，此通常意謂僅可存取共用像素信號之總和。

【0047】 用於縮小像素大小及解決滿井容量問題之一方法係產生小於1 μm 之光感測器，其可僅量測一個或至多若干個光子之存在或不存在，但另一方面，可依非常高速度操作。在高速度處，減少量測時間，使得感測器不太可能飽和。接著，由感測器產生之信號由諸多時間窗內所收集而非一單一時間窗期間所收集之電荷之總和組成。此技術之一主要缺點係依高資料獲取速率操作大量光感測器需要大量功率，其增加操作成本且產生難以耗散之熱。

【0048】 用於擴大影像感測器陣列之動態範圍之一不同方法係依開

路電壓模式操作影像感測器陣列。開路電壓模式給予一對數回應(即，類似一眼或膜)而非電荷收集模式中之線性回應。使用開路電壓模式之陣列已展示超過120 dB之一動態範圍(跨越6個數量級且約兩倍於多數當前偵測器陣列中所達成之範圍的可量測光強度之一範圍)。然而，使用開路電壓模式之陣列在其中其回應由雜訊主導之較低光強度處表現不佳。

【0049】 開路模式光感測器之另一缺點係：就大於1 μm 之像素而言，矽半導體接面對光之電壓回應之時間常數比圖框間轉變時間慢。因此，必須包含額外電路以在影像獲取開始之前強制重設光感測器。另外，就大於1 μm 之像素而言，電壓回應時間往往長於曝光時間。此意謂依電壓模式操作之此等像素無法在曝光時間達成平衡。此等動態量測具有隨機雜訊及難以消除系統誤差兩者之額外源。

II.C 成像陣列之設計及操作

【0050】 個別光感測器及像素可用作單偵測器或線性及二維偵測器陣列。像素間距判定一光感測器陣列中之兩個重要參數：影像空間中成像系統之空間解析度及給定數目個像素之成像陣列之大小。像素間距可設置可擷取於影像中之空間頻率之一上限。此像素間距對應於物體空間中之一類似空間解析度度量。儘管特定限制取決於成像光學器件，但像素間距限制可辨別於物體中之空間細節。此外，隨著像素間距增大，感測器陣列之面積增大此間距之平方。半導體裝置成本與裝置面積成比例上升，因此，增大像素間距對成像陣列成本具有重要影響。

【0051】 需要較小像素推進陣列設計之諸多改良。最佳化像素分為兩大類：(i)提高光敏度及(ii)減少雜訊。光聚集改良包含微透鏡、光導、抗反射塗層、薄化互連層及介電質、背面照明及積體電路之三維整合或用

於分離光子偵測與像素讀出及信號處理之堆疊結構。諸多此等相同改良亦減少光學串擾。深溝渠隔離及埋藏彩色濾光器亦減少光學串擾且改良模組轉移函數。

【0052】 光感測器中之堆疊結構可用於提高關於擷取影像之資訊密度。可在各成像點處同時偵測多個頻率且無需區域過濾。區域過濾自一光感測器移除除一特定種類「上游」(即，堆疊結構中較高處)之光之外的所有光。因此，區域過濾自傳入信號移除所有其他光。相反地，堆疊光感測器能夠垂直過濾光。在此情況中，色彩分離由不同光波長具有不同吸收係數引起；然而，不同色彩感測層具有來自所有可見波長之大貢獻。層間可變色彩感測導致難以準確解析色彩。實施堆疊結構亦具有額外資訊處理挑戰。因為光之特定波長不同程度地吸收於所有層中，所以產生一標準紅綠藍影像係有挑戰的。特定而言，在形成一影像之前解卷積來自堆疊結構之各層之所有不同色彩貢獻。

【0053】 總言之，選擇最適合於一特定視覺應用之攝影機之諸多權衡源於現有裝置之操作之物理性。基本競爭因數界定效能且其導致裝置、程序及電路之複雜權衡。最小像素大小、感測器動態範圍及光感測器之雜訊特性之限制全部導致普遍低於預期之效能且甚至導致低於使用膜所達成之效能的效能。

III. 米氏光感測器

【0054】 米氏散射允許小尺寸結構具有大於其實體橫截面之光學橫截面。因而，米氏散射能夠藉由提高光敏度(例如，藉由基於感測器之光學橫截面來集中可用於光感測器之光量)來提高光感測器效能。例如，在米氏散射中，具有約入射光波長之長度尺度之物體展現可優先導引光朝向

一光感測器之複雜散射性質。米氏散射實現可經調適以優先與入射波長及偏振之特定組合相互作用之一共振。因此，利用米氏散射之裝置可用於增強一光感測器之能力。此外，實現米氏散射之結構之組態、設計及特性(例如結構幾何形狀、(若干)結構材料及結構內特徵之空間關係)可經選擇以增強一光感測器之能力。章節III.A中將更詳細描述米氏散射。

【0055】 在本文中，利用米氏散射之任何光感測器描述為一米氏光感測器。一米氏光感測器藉由量測內部集中於光感測器之一散射中心之光來增強光感測器能力。一散射中心係利用米氏散射來增加電流產生之一米氏光感測器之一區域。在一實例中，一米氏光感測器包含增強光子偵測之一散射中心。即，由於米氏散射效應，由一米氏光感測器回應於入射於一散射中心上之一光子所產生之一信號高於習知光感測器中之信號。隨後，可在一或多個額外感測器中偵測產生信號(例如，作為電流、電壓或電阻)。

III.A 米氏散射

【0056】 米氏散射可大體上描述為光學散射問題之一描述，其係自一物體散射之光之馬克士威(Maxwell)方程式之一通解。一般而言，隨著一物體變得遠大於光波長，馬克士威方程式之解收斂於由一物理光學解決方案(即，如先前章節中所討論)提供之解。另外，隨著一物體變得遠小於光波長，馬克士威方程式之解收斂於瑞利(Rayleigh)散射近似值。然而，在中間區域中，散射解變得更複雜且被稱為米氏散射。

【0057】 例如，當一物體具有約 $1/5 \cdot \lambda$ 至約 $10 \cdot \lambda$ 範圍內之一特性大小時，一給定波長(λ)之光將展現來自該物體之米氏散射。就半徑 r 之一球體而言，特性大小係球體之周長 $2\pi r$ ；就一扁球體而言，其係 $2\pi a$ ，其中 a 係

扁球體之主軸；且就半徑 r 之一無限長圓柱體而言，其係 $2\pi r$ 。長度 $2.5r$ 或更長之有限圓柱體之表現類似於無限圓柱體。因此，就可見光而言，具有約20 nm至約1.1 μm 之間的半徑之球形粒子將展現米氏散射。上述形狀係方便實例，因為其具有此大小體系中光學散射問題之分析解，但可為任何其他形狀。就任意體積(諸如各種多面體)而言，僅數值解可用。

【0058】 一米氏光感測器可藉由產生大粒子內場來產生用於影像感測之信號。當散射物體大於入射光波長與物體組成材料之折射率之實部的比率(即，物體係光學大)，小於入射光之波長(即，物體係幾何小)，且散射物體具有小於1之衰減係數時，大粒子內場係可行的。

【0059】 米氏光感測器經建構以增加由入射光之散射所致之高電磁場之內部區域之產生。此等場促成一提高吸收概率且因此促成導致改良影像產生特性之一增大光電流。因為此等集中場區域可在薄於一吸收厚度之結構中，所以習知光感測器之厚度要求不適用於米氏光感測器。例如，採用其散射中心係半徑100 nm之一矽球體(其特性大小係 $2\pi r$ 或628 nm)的一米氏光感測器。在此實例中，600 nm光入射於散射中心上。就矽而言，600 nm處之實部折射率係3.939且衰減係數係0.02，其導致 $4.14 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 之一吸收長度。因此，此一球體之特性長度超過入射波長與其折射率之比率的4倍。同時，球體在其最厚處之衰減係數係0.083。此實例說明米氏光感測器與習知光感測器之間的一差異。例如，習知光感測器經實施以藉由儘可能與待量測入射光之1個吸收長度之一大致最小厚度一樣厚來最大化其光吸收概率。

【0060】 在產生大粒子內場之米氏光感測器中，入射能之散射及吸收兩個分量較小，且剩餘能量內部集中於散射物體。干涉效應可抵消散射

物體附近區域中之入射能以導致物體之光學橫截面顯著超過其實體橫截面。即，一米氏光感測器宛如其自遠大於其實際大小之一結構吸收光般有效運作。

【0061】 米氏光感測器可包含由介電材料組成之散射中心，該介電材料具有與周圍環境強烈失配之其折射率之一實部(折射率)且其折射率之虛部(衰減係數)較小。即，一米氏光感測器之材料可具有一折射率：

$$\hat{m} = m + i\kappa \quad (2)$$

使得

$$m > 1 \ \& \ \kappa \ll 1 \quad (3)$$

【0062】 此等材料之實例包含諸多半導體，例如矽($m=4.14$ ， $k=0.01$)、砷化鎵($m=4.13$ ， $k=0.34$)及磷化鎵($m=3.49$ ， $k=0.003$)。當半導體材料(例如)形成具有適合於米氏散射之大小且由低折射率材料包圍之物體時，作為其產生遠場米氏散射圖案之一必然結果，其可回應於入射光而經歷極大內部電磁場。用於半導體之一些低折射率材料可為(例如)空氣($m=1$)、二氧化矽($m=1.5$)、油或水。就半導體散射中心而言，由此等內部場形成之大能量密度促成大自由載子產生。一米氏光感測器中光學產生之自由載子之數目一般與入射光之強度成比例且可用於電荷收集模式或開路電壓模式中以促成報告入射光強度之一輸出信號。

【0063】 米氏光偵測器中之共振係回應於變數(諸如(例如)波長)之一特定(通常較窄)範圍之激發。因此，散射物體之大小可經調適以增強感測器對一特定波長範圍之回應且不濾除其他波長。特定波長回應有機會產生對所要波長作出固有回應之光感測器。可採用多個相鄰感測器來提供波長特定性(色彩敏感度或多光譜成像)。在一些情況中，期望一寬波長回應

而非一特定窄波長回應。幸運地，在此情況中，共振可發生於實現一寬波長回應之重疊級聯中。一般而言，改變個別習知光感測器之形狀無法用作波長或偏振選擇之一方式。因此，選擇米氏光感測器中之適當形狀、大小、深度等等可為由光感測器吸收之選擇波長或偏振。

【0064】共振重疊可見於使用一球形散射中心之米氏散射之一實例性解中。首先，光學散射問題之一米氏解依據正交函數之一無窮級數來擴展電磁場以滿足散射物體(例如一球體、一多面體等等)之表面處之適當邊界條件。即，個別電磁場之徑向分量係0且其切向分量連續。在一球體之理想化情況中，正交基底函數由黎卡提-貝塞(Riccati-Bessel)函數之複雜線性組合建構；此等新函數由 ψ_n 及 ξ_n 指定，其中n指定基本黎卡提-貝塞函數之階且解完全由展開式中各項之一系列4個係數判定。該等係數之兩者僅與散射物體外之電磁場相關；剩餘兩者各分別指示散射物體內之電磁場之強度。此等係數取決於描述散射物體之實體大小與光波長之間的關係之一無因次大小參數 $x = \frac{2\pi r}{\lambda}$ 、散射物體之複折射率m及展開式之階n。在 $\kappa = 0$ 之限制中，散射球體內之解給出如下：

$$c_n = \frac{-im}{m\psi'_n(mx)\xi_n(mx) - \xi'_n(mx)\psi_n(mx)} \quad (4)$$

其中 c_n 係描述電場強度之係數；及

$$d_n = \frac{im}{m\xi'_n(mx)\psi_n(mx) - \psi'_n(mx)\xi_n(mx)} \quad (5)$$

其中 d_n 係描述磁場強度之係數；且其中'(或「引號」)指示相對於整個自變數之導數。較低階n (偶極、四極及八極項：n=1、2及3)一般具有最大影響，因為較低階正交函數主導級數展開式且各項隨後乘以與1/n成比例之一額外因數以計算該項對總場之貢獻。依據球體半徑而變化之係數可經繪圖以視覺化其中共振重疊之範圍。

【0065】圖1A至圖1H繪示根據若干實例性實施例之一系列共振圖。一共振圖繪示依據散射中心大小而變化之一吸收係數之量值。各共振圖包含根據上述界定所計算之若干不同吸收係數 d_1 、 d_2 、 d_3 、 c_1 、 c_2 及 c_3 。換言之，各共振圖展示依據球體半徑而變化之 c_n 及 d_n 兩者之3個第一多極(例如 $n=1$ 、2及3)。圖1A係具有一400 nm波長之入射光之一共振圖110。圖1B係具有一450 nm波長之入射光之一共振圖120。圖1C係具有一500 nm波長之入射光之一共振圖130。圖1D係具有一550 nm波長之入射光之一共振圖140。圖1E係具有一600 nm波長之入射光之一共振圖150。圖1F係具有一650 nm波長之入射光之一共振圖160。圖1G係具有一700 nm波長之入射光之一共振圖170。圖1H係具有一750 nm波長之入射光之一共振圖180。

【0066】米氏光感測器可呈諸多形狀。關於圖1A至圖1H所繪示之實例呈球形，然而，米氏光感測器可呈直線、接近直線或某一其他幾何形狀。可使用半導體製造技術來產生直線或近直線米氏光感測器。就一直線感測器而言，散射問題之解無法經分析解算，但其可經數值解算。

【0067】例如，圖2繪示根據一實例性實施例之一直線米氏光感測器之一吸收功率圖。吸收功率圖210展示不同光波長之吸收功率與入射功率之一數值計算比。使用以下兩者來計算吸收功率：(i)一直線光感測器之米氏解(標記為「cube」)及(ii)由物理光學計算預測之直線光感測器之解(標記為「BL」)。計算以下兩個不同直線光感測器之吸收係數：(i)具有109 nm側之一第一裝置及(ii)具有218 nm側之一第二裝置。另外，計算五個不同光波長(例如400 nm、500 nm、600 nm、700 nm及800 nm)之吸收係數。

【0068】 當考量米氏散射時，第一裝置之吸收能展示400 nm光之增強吸收。此可鑑於圖1之作圖中之結果來預期。第二裝置之吸收能展示一更均勻吸收分佈。值得一提的是，此等吸收比之若干者大於1。比率表明，當考量米氏散射時，一裝置具有超過其實體橫截面之一光學橫截面。

【0069】 為了比較，亦針對兩種大小之偵測器來展示由物理光學預測之第一裝置之吸收能。在此等實例中，由於不存在由米氏散射引起之內部集中，所有波長之吸收功率減小4倍至6倍之間。

【0070】 圖1A至圖1H及圖2中之結果指示用於達成寬波長回應且執行多光譜成像之策略。即，在一第一方法中，實施具有不含 c_n 或 d_n 中之一高強度共振之大小及形狀的若干米氏光感測器允許一光感測器之一較寬波長回應。在一第二方法中，實施多個米氏光感測器(其等各具有略微不同幾何形狀，經定位以使各光感測器量測影像平面中之類似空間資訊)允許多光譜成像。在此情況中，來自多個偵測器之信號可經加總，使用一均勻權重來平均化，或依某一其他函數形式組合以給予與所要雜訊及敏感度要求組合之一所要波長回應。

III.B 米氏光感測器之結構及物理性

【0071】 根據一實例性實施例，圖3A繪示一米氏光感測器之俯視圖，且圖3B繪示一米氏光感測器之一側視圖。在此實例中，米氏光感測器310包含n型砷化鎵之長方體台面320。台面320坐落於純質砷化鎵層之一基板330上且附接至基板330。在此，台面320係一米氏光感測器之一散射中心之一實例。然而，在其他實施例中，散射中心可呈任何其他數目個形狀或大小。

【0072】 在此實例中，藉由在2000 nm厚純質砷化鎵基板330上生長

一層100 nm厚n型砷化鎵來形成台面320。隨後，利用光阻劑施加、光阻劑圖案化與光微影及/或電子束微影及蝕刻之一組合來製造米氏光感測器。依此方式，製程移除n型砷化鎵之界定部分以留下個別台面320。台面320亦經製造使得台面之各側係250 nm×250 nm。諸如500 nm×500 nm側之其他實例亦可。

【0073】 後續處理步驟產生台面320上之一歐姆接點350A及肖特基接點350B。處理亦產生用於電接達接點350之導電跡線，儘管其未被繪製。

【0074】 米氏光感測器310可具有其他維度或任何其他數目個接點350。此外，接點可為某一其他類型之接點，諸如一p-n或p-i-n半導體接面。

【0075】 圖4繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器之一電壓回應圖。一電壓回應圖410展示一米氏光感測器(例如米氏光感測器310)之依據入射光強度而變化之肖特基接點(例如350B)與一歐姆接點(350A)之間的開路電壓回應。在所繪示之實例中，展示曝露於正入射光之250 nm平方及500 nm平方砷化鎵台面兩者之開路電壓。另外，肖特基接點之估計肖特基能障高度係0.48 eV，但可為任何其他能障高度。

【0076】 所繪示之實例展示源於米氏散射之增強吸收。例如，在此，台面曝露於法向於米氏光感測器之頂面之準直入射632.8 nm波長光。若此實例呈現物理光學近似值，則37%之光應自表面反射且剩餘中之32%應在台面中被吸收用於總入射光之21%之一總吸收能。然而，在此實例中，量測信號指示至少兩倍於預期之光吸收於米氏光感測器中。即，當呈現使用物理光學之原理所導出之理想最大值時，存在超過預期之吸收。

【0077】圖4中所展示之增強回應繪示上述米氏散射之內部集中效應。後續模型化結果支援此結論。在實例中，當一介電物體與具有基本相同複折射率之材料之一宏觀大平板緊密平面接觸時，介電物體可支援指示隔離散射中心之米氏散射的內能集中。此等介電物體之能量集中指示直接由半導體材料之晶圓製造之連接元件係適合於此等偵測器之結構。

【0078】在一習知光感測器中，台面(例如一米氏散射感測器)不存在。相反地，此等系統包含充當一吸收介質之半導體材料之一厚度，且在一或多個位置中，不同摻雜之半導體或一薄金屬層用於建立一空乏區域。空乏區域促成局部產生之光生電荷之收集。就一陣列而言，個別像素可由材料分離以阻止光子或電荷交換。縮小一陣列之面積尺寸以使個別像素小於入射光波長無法產生一米氏光感測器陣列。此外，縮小陣列厚度以使其光學較薄無法產生一米氏光感測器陣列。一般而言，相鄰(傳統)小光感測器形成具有一連續折射率之一較大結構。相比而言，在一米氏光感測器陣列中，個別光感測器具有本文中所討論之適當尺寸。此外，各米氏光感測器主要由具有不同於像素本身之一折射率之材料包圍以界定散射中心且進一步實現米氏散射。

【0079】此外，一般而言，個別習知光感測器由支援信號收集電子器件之額外半導體材料包圍。在將感測器之光活性區域減小至一米氏光感測器之尺寸之後，此額外材料與光活性區域組合形成不界定米氏光感測器所需之一離散介電散射中心之一較大結構。

【0080】一米氏光感測器中之一接點之肖特基能障高度可影響其操作。例如，圖5係根據一實例性實施例之一電壓多回應圖。電壓多回應圖510展示用於圖3中之米氏光感測器但針對肖特基接面之不同能障高度之

一模擬開路電壓。在電壓多感測器圖中，針對各肖特基能障來量測相同光波長之開路電壓。

【0081】 如上文所描述，一米氏光感測器之內部電及/或磁場大於其習知光感測器對應物。例如，圖6繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器之一橫截面場圖。橫截面場圖610繪示一米氏光感測器中及其周圍之電場。所繪示之米氏光感測器係圖3中所展示之米氏光感測器310。另外，米氏光感測器製造於一 $1000\text{ nm}\times 1000\text{ nm}\times 200\text{ nm}$ 厚之Si基板(例如基板330)上。米氏光感測器經受波長 600 nm 之一入射平面波，其誘發定位於台面內及台面正下方之矽基板內之大電磁場。

【0082】 圖7繪示根據一實例性實施例之一米氏光感測器。在此實例中，米氏光感測器710包含 $350\text{ nm}\times 250\text{ nm}\times 100\text{ nm}$ 厚之一矽台面及形成至台面720之接點之兩個金屬條(例如接點740A及740B)。各接點740係 $250\text{ nm}\times 50\text{ nm}\times 50\text{ nm}$ 高。一接點740A與台面720形成一肖特基接觸，另一接點740B與台面形成一歐姆接觸。依據台面下之基板而變化之吸收功率之模擬結果強化散射中心可支援米氏散射誘發內能集中之結果。

【0083】 圖8係根據一實例性實施例之一米氏光感測器之一橫截面場圖。橫截面場圖810繪示圖7之米氏光感測器710之一橫截面圖。橫截面場圖展示裝置中及其周圍之電場。然而，在此實例中，米氏光感測器製造於一 $1000\text{ nm}\times 1000\text{ nm}\times 200\text{ nm}$ 厚之二氧化矽基板上以經受波長 600 nm 之一入射平面波。

【0084】 在此實例中，基板係二氧化矽(一絕緣體)而非一半導體(例如矽)。二氧化矽基板允許完全圍繞台面之一不連續折射率。另外，二氧化矽強力支援沿其前及後表面入射於基板上之一平面波之反射。入射及平

面波與反射平面波之間的干涉效應主導基板及周圍真空中之電場強度圖。干涉效應減少台面中之內部集中效應，其見於最大電場強度之一減小中。比較圖6與圖8表明：矽基板上之米氏光感測器之敏感度具有比二氧化矽基板上之裝置低1個至2½個數量級之光位準之一最小敏感度(取決於台面摻雜 N_d)。

【0085】 圖9繪示根據一實例性實施例之一電壓多回應圖。電壓多回應圖繪示圖5中之米氏光感測器之兩個金屬接點之間所誘發之開路電壓。在此，電壓回應係回應於使用一矽基板上之矽所製造之一米氏光感測器上之不同強度之600 nm入射光。另外，在此電壓回應圖910中，各線不傳達一不同肖特基能障高度，作圖中之各線表示米氏光感測器之台面之一不同摻雜位準。就矽及二氧化矽基板兩者而言，假定肖特基能障高度係1.0 eV。肖特基能障誘發相鄰於其之半導體體積中之一空乏區域且具有反映系統之平衡狀態之一內建電壓。新增光生電子-電洞對改變可量測為兩個金屬接點之間的開路電壓之此內建電壓。開路電壓與光生載子之產生率之對數成比例。

【0086】 矽基板上之一米氏光感測器一般比二氧化矽基板上之一米氏光感測器更敏感且指示台面及基板組合物之重要性。亦存在提高光學偵測效能(例如敏感度)之其他方式。一實例係減小肖特基接點之面積。減小肖特基接點面積可減小跨能障之飽和電流且此顯著降低裝置敏感度。此外，減小肖特基接點面積能夠設計自由載子梯度且藉此控制擴散速率。控制擴散速率能夠控制諸如純質矽之一非絕緣基板上之感測器之間的串擾。另外，改變金屬接點之大小及形狀可用於進一步界定偵測器與傳入波之間的相互作用。

【0087】 圖10A至圖10C繪示根據一些實例性實施例之一米氏光感測器之各種組態。各圖繪示米氏光感測器之一不同組態，但所有米氏光感測器至少包含一基板(為清楚起見，圖中未繪示)。基板係具有一第一折射率且包括半導體材料之一台面1020之一材料層。台面具有一第二折射率且經組態以回應於一電磁擾動(例如可見光、X射線、紅外線輻射等等)而產生半導體材料內之自由載子。台面1020由具有一複(例如第三)折射率之一折射介質1030 (例如空氣)包圍。一般而言，第三折射率低於第一折射率及第二折射率。在其中台面及基板之材料類似或相同之一些情況中，兩種材料之折射率可類似或相同。

【0088】 折射介質1030及台面1020 (及/或基板)一起形成一界面及跨界面之一不連續折射率。即，折射介質1030可包括具有不同於台面1020之一折射率實部的某一材料。理想地，跨台面1020與折射介質之間的邊界之不連續折射率應儘可能大。例如，就具有5個側上之空氣之一直線矽台面而言，台面與空氣折射介質之間的折射率不連續性係跨可見光譜之5.3至3.7之間。就經受546 nm入射光之砷化鎵而言，台面與折射介質之間的折射率不連續性係4.0。

【0089】 折射介質內之半導體材料之台面可形成米氏光感測器之一電磁散射中心。在一些情況中，散射中心可為台面之某一部分而非整個台面。換言之，台面可描述為包含具有一組邊界之一幾何形狀，且電磁散射中心可為該等邊界內及直至該等邊界之台面之半導體材料之任何部分。

【0090】 米氏光感測器包含接觸台面1020之至少一接點1040 (例如接點1040A及1040B)。接點1040可為歐姆接點、肖特基接點、p-n接面或p-i-n接面之任何組合。在其中兩個接點1040係歐姆之一組態中，折射材

料(或基板)與台面1020之間的至少一介面係一肖特基能障。

【0091】 在各種組態中，米氏光感測器1010可包含可用於改變光感測器對傳入光之偏振之回應的不對稱台面。高度不對稱台面將向具有其組成場之不同定向之光呈現不同有效空間尺寸。例如，圖10A至圖10C中之米氏光感測器1010展示具有相對於傳入光及接點兩者之不同縱橫比之台面1020。依此方式，可個別量測傳入光之特定偏振態及/或傳入光之特定波長可在光感測器中共振。偏振相依量測可給予關於反光或發光物體之組合物之重要資訊。

【0092】 米氏光感測器可經組態以吸收經設計之一特定光波長。例如，一散射中心之大小、形狀、材料等等可經組態以吸收一特定波長。在此情況中，米氏散射吸收一共振能階處之電磁擾動之特定波長且產生對應於共振能階之一第一自由載子量。電磁散射中心亦可吸收非共振能階處之電磁擾動之不同波長且產生對應於非共振能階之一第二自由載子量。自特定波長(例如共振)處之光產生之自由載子數大於自不同波長(例如非共振)處之載子產生之載子數。

【0093】 一般而言，一個別米氏光感測器根據一窄波長回應來組態，但多個米氏光感測器可根據不同波長回應來組態，使得一米氏光感測器陣列吸收一寬範圍之波長。依此方式，可針對傳入光之若干光譜來辨別依據波長而變化之強度變動。

【0094】 本文中所呈現之米氏光感測器之此等組態僅供例示且不意在限制。更具體而言，一米氏光感測器可為利用米氏散射來增強一光感測器中之光電流產生的光感測器之任何組態。

【0095】 例如，一米氏光感測器可具有各種類型之基板。一些實例

性基板包含碳(例如金剛石及具有氮空位之金剛石等等)、砷化鎵、碲化汞、碲化鉍、碲化鉑、銻、溴化銻等等。此外，各基板材料可經選擇使得米氏光感測器經組態以具有一特定類型之電磁擾動之一共振。例如，包含包括(i)碳之一基板之米氏光感測器可具有一UV-X射線共振，包含包括(ii)碲化汞之一基板之米氏光感測器可具有一寬紅外線共振，包含包括(iii)碲化鉑之一基板之米氏光感測器可具有一紅外線共振，包含包括(iv)銻之一基板之米氏光感測器可具有一伽馬射線共振，且包含包括溴化銻之一基板之米氏光感測器可具有一X射線共振。

【0096】 作為另一實例，一米氏光感測器可具有30 nm至1700 nm之間的一高度，其中在相對於基板之表面之一垂直方向上量測米氏光感測器之高度。再者，米氏光感測器之高度可影響引起自由載子產生之一共振之電磁擾動之特定波長及/或引起自由載子產生之一共振之光之一特定偏振。

【0097】 作為另一實例，一台面可具有不同平面大小。例如，一台面可具有10 nm至800 nm之間的一第一方向上之一第一特徵及10 nm至800 nm之間的一第二方向上之一第二特徵，其中第一方向及第二方向大致彼此正交。再者，第一特徵及第二特徵之大小可影響引起自由載子產生之一共振之電磁擾動之特定波長及/或引起自由載子產生之一共振之光之一特定偏振。

III.C 米氏光感測器像素之基本操作

【0098】 如同習知光感測器，米氏光感測器可部署為依開路或電荷收集模式操作之成像系統中之像素。

【0099】 如先前所討論，一非歐姆接點可由一肖特基接面或一p-n

接面形成。肖特基接面之優點係其提供非常快回應時間。先前，肖特基接面很少用於光感測器中，因為其通常具有確定低於其則無法執行量測之一強度底限的一較高暗電流。然而，在一米氏光感測器中，可使金屬半導體界面之面積極其小，其大幅減小接面暗電流。

【0100】 由於光感測器之快速回應時間及低最小敏感度，米氏光感測器適合部署於開路模式中。快速回應時間實現平衡電壓量測且較低最小敏感度允許電壓量測擴展至較低入射強度。歸因於此模式之對數回應，依此方式操作之光感測器具有固有大動態範圍；經提高之最小敏感度表明其可給予顯著大於其他對數偵測器中所展示之6個十進數之一動態範圍。

【0101】 依電壓模式利用之米氏光感測器之另一益處係其可在無偏壓電壓且無重設電路之情況下操作。可使用一肖特基接點之快速回應與由小米氏光感測器大小實現之小面積接點之組合可實施米氏光感測器對光之回應之一直接電壓量測且無需新增重設電路至像素。

【0102】 圖11A至圖11E根據各種實例性實施例之包含一或多個米氏光感測器之一影像感測器中之一像素之若干不同組態。各像素1100 (例如像素1100A、1100B等等)包括半導體材料之一台面1120、一基板1110、一折射材料1130 (所繪示之空氣)及一或多個接點1140。此外，各像素包含用於自像素讀取資訊且控制像素之控制電子器件之某一組合。

【0103】 圖11A繪示根據一實例性實施例之包含一米氏光感測器之一影像感測器陣列之一實例性像素。在此實例中，像素1100A包括將行匯流排1180連接至米氏光感測器1100A之一單一選擇電晶體1160。因為僅存在一單一選擇電晶體1160，所以像素1100A及米氏光感測器給予固有低功率效能。

【0104】圖11B繪示根據一實例性實施例之包含一米氏光感測器之一影像感測器陣列之一實例性像素。在此實例中，像素1100B包含一選擇電晶體1160及一放大電晶體1162兩者。此組態允許米氏光感測器之電容與行匯流排1180之其餘者(及剩餘讀出電路)隔離。另外，此組態允許像素1100B (例如經由放大電晶體1162)按比例重調自米氏光感測器輸出之電壓。

【0105】圖11C繪示根據一實例性實施例之包含一米氏光感測器之一影像感測器陣列之一實例性像素。在此實例中，像素1100C包含一選擇電晶體1160、一放大電晶體1162及一電容器1164。在此，輸出電壓可跨一適當大小之電容器1164暫時儲存。電容器1164之電容取決於電路之電壓差(通常為 V_{DD})、讀出電路之電阻及所要時間回應。另外，一像素1100C之此組態允許幾乎同時量測陣列中之所有像素。

【0106】圖11D繪示根據一實例性實施例之包含一米氏光感測器之一影像感測器陣列之一實例性像素。在此情況中，像素1100D包含一選擇電晶體1160、一放大電晶體1162、一電容器1164及一重設電晶體1166。此組態允許像素將電容器重設至其零電壓差狀態。替代地或另外，此組態允許由電壓儲存電容器調節之一讀出模式與不由電壓儲存電容器調節之一讀出模式之間的切換。作為一操作實例，當選擇電晶體1160係「切斷」時，接通重設電晶體1166提供重設功能。當選擇電晶體1160係「接通」時，接通重設電晶體1166主要用於旁路電壓儲存電容器。

【0107】圖11E繪示根據一實例性實施例之包含一米氏光感測器之一影像感測器陣列之一實例性像素。如上文所描述，在具有一肖特基接面之一米氏光感測器中，米氏光感測器之回應時間較快。因此，在其中使用

一p-n接面之情況中，可期望將感測器重設至其暗狀態之一選項。例如，在此，像素1100E包含一重設開關1168。

【0108】圖11A至圖11E旨在繪示，且包含米氏光感測器之像素之諸多其他組態亦可行。另外，上述功能之任何組合可包含於各種像素中。

【0109】就依電荷收集模式實施之米氏光感測器而言，一較小光感測器大小減少電荷收集時間以藉此實現增大圖框速率。另外，減小飽和電流使肖特基接面(代替半導體接面)之用途更廣泛可行。肖特基接面具有高於半導體接面之固有飽和電流，其設定利用金屬-半導體整流界面之光感測器之一對應較高最小敏感度。然而，在一些實例性組態中，利用肖特基接面之米氏光感測器具有快得多的回應時間，其實現更高圖框速率及短週期光學事件之偵測。

【0110】亦可依具有類似於釘紮光二極體之電路之電路的電荷收集模式實施米氏光感測器。然而，在開路組態中，光活性感測器與其他像素內電路之間不存在一轉移電晶體可導致因(例如)暗電流問題減少之提高效率。

【0111】米氏光感測器之光學橫截面超過其實體橫截面意謂米氏光感測器可對法向照射偵測器之光敏區域周圍及其相鄰區域之入射光作出回應。此增大成像晶片之有效填充因數。此等區域可由控制及處理電子電路佔用。此等電子器件可用於(例如)藉由實施用於高速成像或啟用全域與滾動快門資料收集及轉移之較快電路來增強信號收集及放大。

III.D 米氏光感測器陣列之設計及操作

【0112】個別米氏光感測器可使用一個別習知光感測器所採用之相同技術來實施為單感測器成像裝置。在此情況中，跨由一靜態物體形成之

影像平面掃描感測器以建構一影像。再者，如同習知光感測器，可由跨影像平面所掃描之相同米氏光感測器之線性陣列或固定米氏光感測器之二維陣列形成影像。如同習知光感測器陣列，像素間距可設置可擷取於影像中之空間頻率之一上限。此像素間距對應於物體空間中之一類似空間解析度度量。當使用無介入光學器件之直接成像時，不存在一繞射限制或艾瑞(Airy)斑之概念。此成像之實例包含全像及接觸成像。無法提供精細間隔光感測器已限制此等技術廣泛應用於其中光感測器可能有價值之諸多情境中。在其中需要光學器件之情況中，物體之空間解析度之限制依據光學器件將光自成像物體轉移至影像而變化。就一給定光學系統而言，大像素間距可進一步限制可辨別於物體中之空間細節。為此，米氏光感測器亦可在與成像光學器件(由於其減小大小及增大填充因數)組合使用時給予提高空間解析度。

【0113】 上文所討論之米氏光感測器相較於習知光感測器之所有優點可促成此等各情況中之提高成像效能。另外，米氏光感測器像素全部與當前與習知光感測器一起使用之影像陣列增強方法相容。此等方法包含光聚集改良及雜訊減少技術，諸如微透鏡、光導、抗反射塗層、薄化互連層及介電質、背面照明、積體電路之三維整合或用於分離光子偵測與像素讀取及信號處理之堆疊結構、雙取樣方法等等。

【0114】 米氏光感測器之若干特性各實現配置及使用光感測器陣列(一維、二維或三維陣列)之新方式。特性可包含(例如)米氏光感測器大小小於入射光波長之可能性、一米氏光感測器之光學橫截面超過其實體橫截面之可能性及設計米氏光感測器以展現波長及/或偏振之共振之可能性及其類似者。綜合起來，此等特性允許新及強力陣列設計。

【0115】 除非次波長繞射效應用於影像分析中，否則用於顯示及分析之有意義柵格係具有由約1個艾瑞斑直徑之一最小值分離之柵格節點的柵格。小於光波長之米氏光感測器大小可多次量測影像中之各可解析點或艾瑞斑。此無關於用於形成追求影像之光學器件之光圈值。空間分佈強度量測之此重分級可被視為界定有效像素。亦可使此等有效像素大於一艾瑞斑。在該情況中，必須考量使影像之頻疊最小化之系統之光學器件之空間頻譜。影像空間之空間解析度係由有效像素分佈暗示之解析度。來自一有效像素內之實體像素之信號可組合或保持分離。

【0116】 如上所述，組合來自不同光感測器之信號實質上相較於使用來自一單一較大像素(其係較小像素之總和之面積)之信號而提高最終影像之信雜比。在低光位準處，此提高尤其明顯。就米氏光感測器而言，此可在不損及影像品質之情況下發生。另外，就較大像素而言，此等組合或放大將導致由頻疊帶來光學假影。低於艾瑞斑之大小之米氏光感測器能夠組合不存在導致頻疊之高頻光學組件之感測器。

【0117】 在一些實例中，來自一單一有效像素內之感測器之信號將使用晶片上電子器件、晶片外電子器件來組合或執行於軟體中。當使用晶片上電子器件時，組合信號可導致實質上減少晶片上電路。未必使用一規則柵格上之光感測器來組合信號。例如，將有效像素面積自影像陣列中心增大至邊緣產生類似於人眼之中央凹圖案的一中央凹圖案。不規則光感測器圖案之一優點係其可給予影像之一或多個部分處之一較高空間解析度信號及影像之其他部分處之一較低雜訊及一較高動態範圍信號。

【0118】 產生信號組合一般減小資料產出率且尤其減小晶片上組合之產出率。然而，軟體中之資料組合具有靈活性優點。在其中影像中之物

體具有未知大小或特徵之情況中，可使用回饋或機器學習來判定該等物體。例如，可將實體像素之不同組合組合成有效像素以最大化偵測及評估效力。

【0119】 替代地，使由光感測器產生之信號保持分離實現各有效像素內之入射光之多次波長及/或偏振量測。例如，在其中個別像素係選擇像素(經設計以選擇特定波長或偏振)之影像感測器中，可有利地減少不同類型之選擇像素之間的信號組合。依此方式，具有相同選擇機構之各組像素可用於形成具有有效像素之空間解析度之一影像。

【0120】 在一些組態中，由相同材料製造之米氏光感測器可經堆疊使得各米氏光感測器具有一所要波長範圍內之光之一高吸收概率，同時保持基本上透射其他波長。依此方式，成像陣列可更高效率地使用傳入信號。另外，可使用較小像素來促進收集較高頻率空間資訊及收集各種更多波長資訊兩者。可使用此等較小像素來大幅減小米氏光感測器之半導體接面面積以減小接面飽和電流且繼而降低感測器之最小敏感度。提高效率可導致較低雜訊、較低強度臨限值或較小陣列面積。堆疊光感測器亦能夠利用發生於成像系統中之色差。色差導致來自物體平面之不同色彩聚焦於不同影像平面中。此一配置允許較便宜及不複雜光學器件或替代地，允許較高解析度影像。藉由設計具有設計色差之光學器件，無任何色彩過濾之彩色影像變得可行。

III.E 米氏光感測器之效能提高

【0121】 米氏光感測器在至少以下三個方面克服當前見於習知光感測器中之約束：1)影像品質、2)三維像素大小及3)功能。

【0122】 米氏光感測器對影像品質具有重大影響，因為其可相對於

傳統光感測器而改良量測敏感度、動態範圍及回應時間。根據各種實施組態，其可用於進一步減少雜訊、提高空間解析度及提高影像對比度。此外，其消除在需要由低照明引起之長積分時間之應用中使用小像素引起之關鍵挑戰。

【0123】 米氏光感測器解決挑戰以實質上減小像素之三維大小。依約為或小於待偵測之光之波長之橫向於入射光之大小製造米氏光感測器。同樣重要地，米氏光感測器能夠實施有小於 $1/\alpha$ 之一厚度。結合當前半導體平坦化技術，此等較薄光感測器陣列給予一較小焦深，其繼而便於利用此等小像素。

【0124】 米氏光感測器亦依諸多關鍵方式改良功能。首先，米氏光感測器具有一顯著影響SWaP。較小及較薄陣列可轉化成將較小光圈值光學器件用於一些應用。較小光圈值光學器件可顯著更小型。米氏光感測器減少各像素之功耗以減少成像裝置之總功率需求或替代地，能夠增加像素計數，同時最小化功耗增加。

【0125】 另外，米氏光感測器展現波長或偏振之不同共振意謂不同感測器可具有不同類型之光固有之一敏感度。使用習知光感測器，使用過濾來達成波長或偏振特定性。此方法移除除一特定類型之光之外的攜帶資訊入射光。米氏感測器不消除其他光，而是被視為自傳入串流提取特定光且允許附近、相鄰或尾隨米氏光感測器繼續量測光之其他態樣。因此，展現入射光之一或多個特徵之一共振的米氏光感測器指稱選擇米氏光感測器。因而，可使用用於快速移動場景之快速資料收集之多個高解析度成像模態之影像偵測及晶片級整合之米氏光感測器來開發小型低功率裝置。

【0126】 此外，米氏光感測器可減少見於習知感測器技術之諸多填

充因數問題，其中一像素中之光敏面積之百分比直接影響一感測器之敏感度及擷取影像之信雜比。因而，更有機會將電腦視覺預處理功能嵌入晶片上，同時限制感測器大小擴大及功耗。

III.F 應用

【0127】 小型、高速及與矽製造技術相容表明，米氏光感測器可實施為單偵測器或偵測器陣列、光學傳輸信號之接收器。特定而言，米氏光感測器可製造為組成電腦組件之個別積體電路之部分以藉此簡化CPU板或電腦背板上之組件內、組件之間的資訊轉移速率增大。

【0128】 使用光學器件來成像及使用一米氏光感測器陣列來接觸成像之優點包含提高空間解析度、提高對比度、減小攝影機封裝、光譜敏感度、基於偏振之成像、具有較低功率輸入需求之成像等等。此等優點給予諸多應用(其包含用於消費型電子產品之成像、用於內視鏡檢查及外科手術機器人之醫學成像、工業成像及機器視覺、用於包含自動駕駛汽車之汽車應用之成像及用於保全及國防應用之成像)中之提高效能。

【0129】 米氏光感測器之高速表明，其對光學飛行時間量測具有特定價值。個別米氏光感測器可實施為物體追蹤及碰撞預測之部分。實施為陣列之米氏光感測器可依此方式用作三維場景重建之一構件。

【0130】 依開路模式實施之米氏光感測器之低光敏感度與對數回應之組合建議用於近暗至亮光條件中之成像。此一範圍常見於汽車攝影機、監控成像工具及諸多工業應用中。

IV. 額外考量

【0131】 儘管[實施方式]含有諸多細節，但此等不應被解釋為限制本發明之範疇，而是僅被視為繪示不同實例。應瞭解，本發明之範疇包含

上文未詳細討論之其他實施例。熟習技術者應明白，可在不背離隨附申請專利範圍中所界定之精神及範疇之情況下對本文中所揭示之方法及設備之配置、操作及細節作出各種其他修改、改變及變動。因此，本發明之範疇應由隨附申請專利範圍及其合法等效物判定。

【0132】 在申請專利範圍中，除非明確陳述，否則以單數形式參考之一元件不意欲意謂「有且僅有一個」，而是意欲意謂「一或多個」。另外，一裝置或方法未必解決可由本發明之不同實施例解決以由申請專利範圍涵蓋之每一問題。

【0133】 擴增實境系統100可包括多個元件。一元件可包括經配置以執行特定操作之任何實體或邏輯結構。各元件可根據一組給定設計參數或效能約束之期望來實施為硬體、軟體或其等之任何組合。硬體元件之實例可包含裝置、組件、處理器、微處理器、電路、電路元件(例如電晶體、電阻器、電容器、電感器等等)、積體電路、專用積體電路(ASIC)、可程式化邏輯裝置(PLD)、數位信號處理器(DSP)、場可程式化閘陣列(FPGA)、記憶體單元、邏輯閘、暫存器、半導體裝置、晶片、微晶片、晶片組等等。軟體之實例可包含任何軟體組件、程式、應用、電腦程式、應用程式、系統程式、機器程式、作業系統軟體、中間軟體、韌體、軟體模組、常式、副常式、功能、方法、介面、軟體介面、應用程式介面(API)、指令組、運算碼、電腦碼、碼段、電腦碼段、字、值、符號或其等之任何組合。儘管本文中所展示之電路具有呈一特定拓撲之有限數目個元件，但應瞭解，電路可根據一給定實施方案之期望來包含呈替代拓撲之更多或更少元件。實施例不受限於此內文。

【0134】 根據模組之形式，元件之間的「連接」亦可呈不同形式。

例如，專用電路可藉由硬接線或藉由存取一共同暫存器或記憶體位置來彼此連接。軟體「連接」可藉由在軟體組件之間(或軟體與硬體之間，若情況係如此)傳遞資訊之各種方式來發生。術語「連接」意謂包含所有此等且不意謂限於為兩個組件之間的一硬接線永久連接。另外，可存在介入元件。例如，當兩個元件描述為彼此連接時，此不隱含元件直接彼此連接且其不排除在兩個元件之間使用其他元件。

【符號說明】

【0135】

110	共振圖
120	共振圖
130	共振圖
140	共振圖
150	共振圖
160	共振圖
170	共振圖
180	共振圖
210	吸收功率圖
310	米氏(Mie)光感測器
320	台面
330	基板
350	接點
350A	歐姆(Ohmic)接點
350B	肖特基(Schottky)接點

410	電壓回應圖
510	電壓多回應圖
610	橫截面場圖
710	米氏光感測器
720	台面
740	接點
740A	接點
740B	接點
810	橫截面場圖
910	電壓回應圖
1010	米氏光感測器
1020	台面
1030	折射介質
1040	接點
1040A	接點
1040B	接點
1100	像素
1100A	像素/米氏光感測器
1100B	像素
1100C	像素
1100D	像素
1100E	像素
1110	基板

1120	台面
1130	折射材料
1140	接點
1160	選擇電晶體
1162	放大電晶體
1164	電容器
1166	重設電晶體
1168	重設開關
1180	行匯流排

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種米氏(Mie)光感測器，其包括：

一材料層，其具有一第一折射率且包括半導體(semiconducting)材料之一台面(mesa)，該台面經組態以回應於一電磁擾動(perturbation)而產生該半導體材料內之自由載子；

一折射介質，其包圍該材料層且具有一複折射率(a complex index of refraction)，該折射介質及該台面形成(i)一界面，其具有跨該界面之一不連續折射率；及(ii)一電磁散射中心，其經組態以經由該電磁散射中心處之該電磁擾動之光學吸收及米氏共振來產生自由載子；及

一或多個電接點，其電耦合至該電磁散射中心且經組態以感測回應於該電磁擾動而產生於該電磁散射中心內之自由載子，

其中半導體材料之該台面包括以下之至少一者：摻雜矽、砷化鎵、磷化鎵、氮化鎵、碲化鎢或硫化鎢。

【第2項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該半導體材料之該台面形成具有一組邊界之一幾何形狀，且該電磁散射中心形成於該等邊界處，使得該電磁散射中心包括該台面之該半導體材料。

【第3項】

如請求項1之米氏光感測器，其中半導體材料之該台面形成具有一組邊界之一幾何形狀，且該電磁散射中心形成於邊界內，使得該電磁散射中心包括該台面之該半導體材料之某一部分。

【第4項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該材料層包括矽。

【第5項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該材料層包括二氧化矽。

【第6項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該材料層包括一半導體材料。

【第7項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該材料層包括一絕緣材料。

【第8項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該材料層包括以下之任何者：碳、砷化鎵、碲化汞鎢、矽化鉑、銻或溴化銻。

【第9項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該半導體材料之該台面具有50 nm至250 nm之一高度，該高度量測於相對於該材料層之一表面之一垂直方向上。

【第10項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該半導體材料之該台面具有一第一方向上之10 nm至80 nm之間的一特徵大小、一第二方向上之10 nm至80 nm之間的特徵大小，該第一方向及該第二方向彼此正交且平行於該半導體材料之一表面。

【第11項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該電磁散射中心經組態以吸收電磁擾動之一特定波長，且該電磁散射中心之一大小與電磁擾動之該特定波長成比例。

【第12項】

如請求項11之米氏光感測器，其中該電磁散射中心之該大小與電磁擾動之該特定波長之間的比例性(proportionality)係基於該電磁散射中心之該大小、電磁擾動之該特定波長、該複折射率及該第一折射率之任何者。

【第13項】

如請求項1之米氏光感測器，其中：

半導體材料之該台面具有一第二折射率，且

該複折射率小於該第一折射率及該第二折射率。

【第14項】

如請求項13之米氏光感測器，其中該第一折射率相同於該第二折射率。

【第15項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該折射介質係包含空氣、油或水之任何者之一低折射率材料。

【第16項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該一或多個電接點之一第一接點與該半導體材料之該台面形成一歐姆(Ohmic)接觸且該一或多個電接點之一第二接點與該半導體材料之該台面形成一肖特基(Schottky)能障。

【第17項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該一或多個電接點之一第一接點與該半導體材料之該台面形成一歐姆接觸且該一或多個電接點之一第二接點與該半導體材料之該台面形成一p-n接面。

【第18項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該一或多個電接點之一第一接點及一第二接點與該半導體材料之該台面形成一歐姆接觸。

【第19項】

如請求項18之米氏光感測器，其中該米氏光感測器包含該折射材料與半導體材料之該台面之間的一邊界處之一p-n接面。

【第20項】

如請求項1之米氏光感測器，其中該電磁散射中心中之該電磁擾動之每單位體積之該光學吸收高於該半導體材料及該折射介質兩者中之該電磁擾動之每單位體積之該光學吸收。

【第21項】

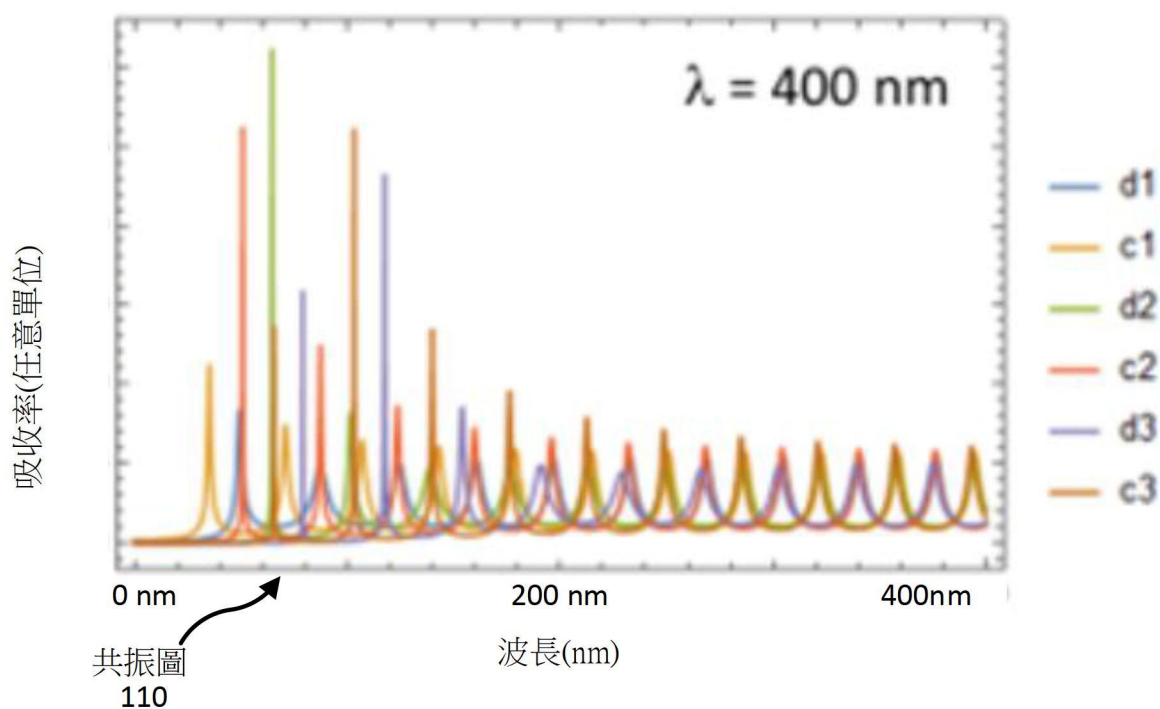
如請求項1之米氏光感測器，其中：

每單位體積之一第一自由載子量由該電磁散射中心中之該電磁擾動之該吸收產生，

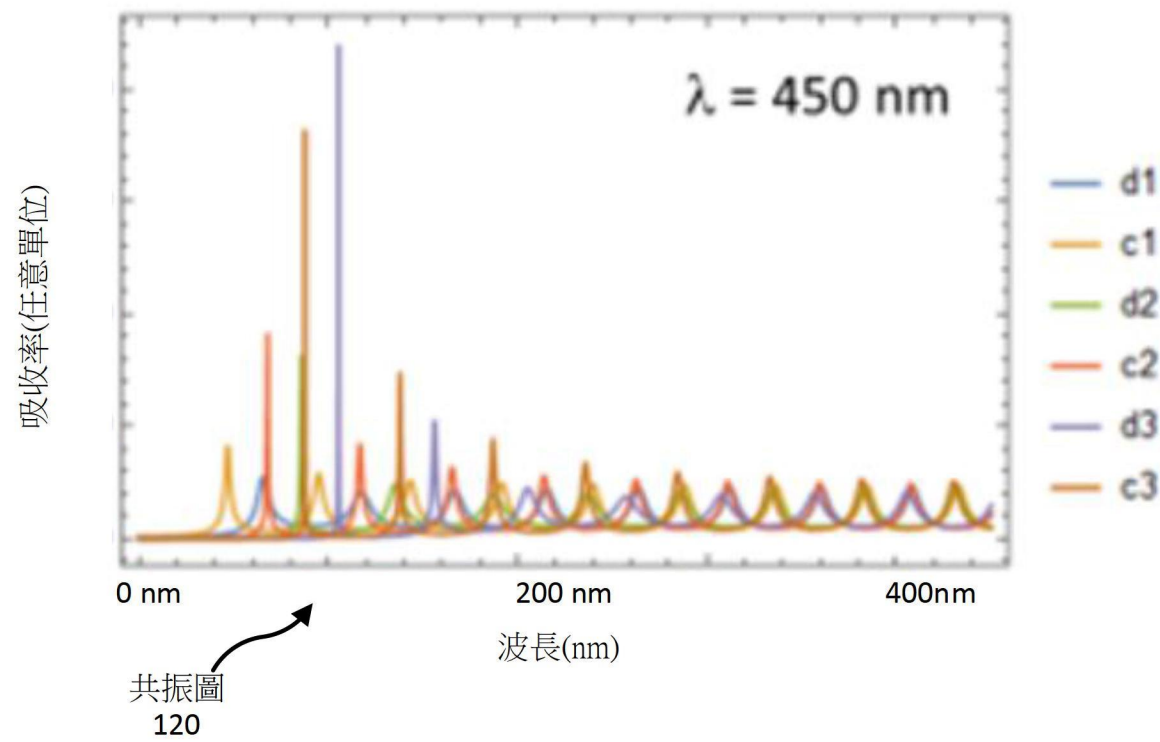
每單位體積之一第二載子量由該半導體材料中之該電磁擾動產生，
且

每單位體積之該第一自由載子量大於每單位體積之該第二自由載子量。

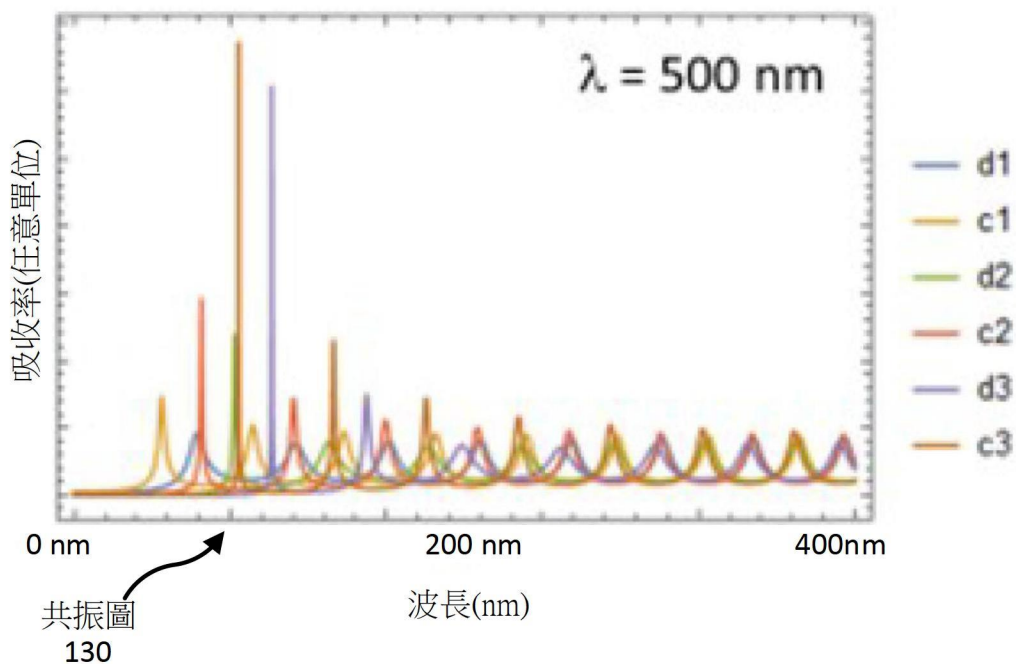
【發明圖式】



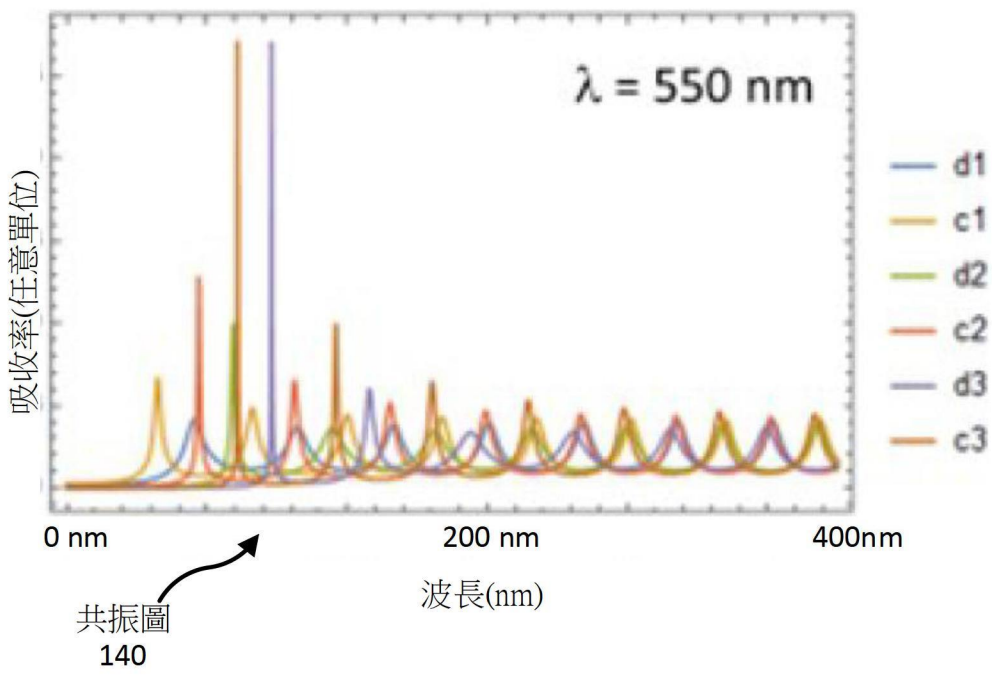
【圖1A】



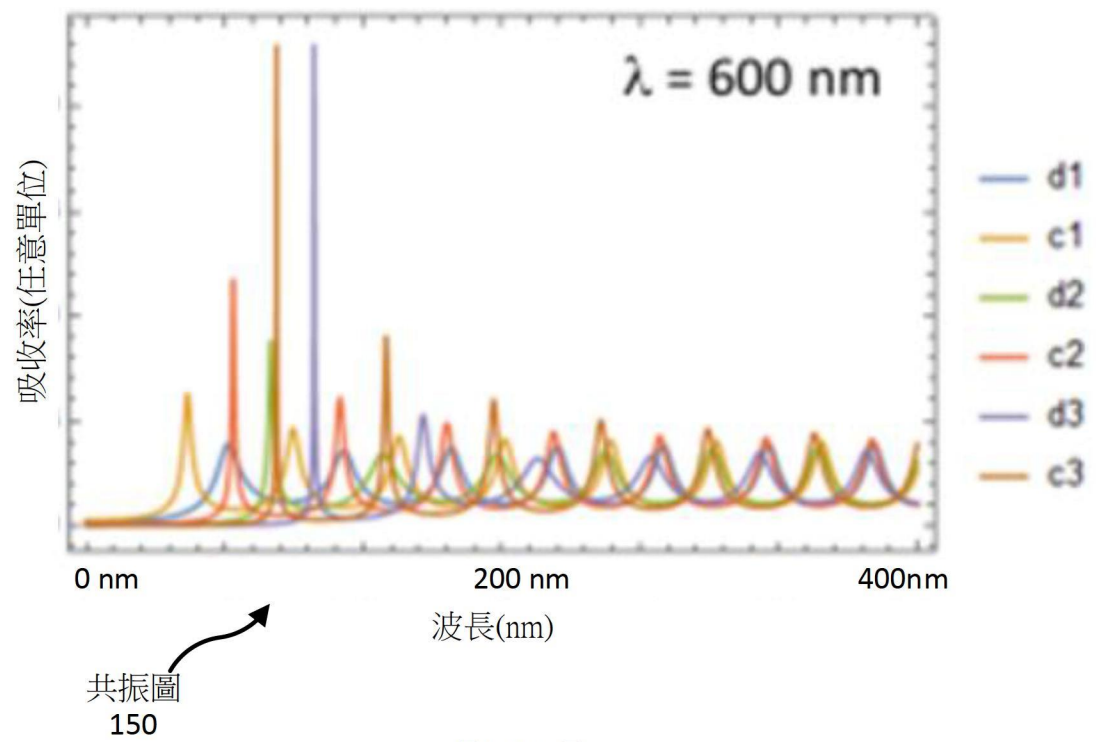
【圖1B】



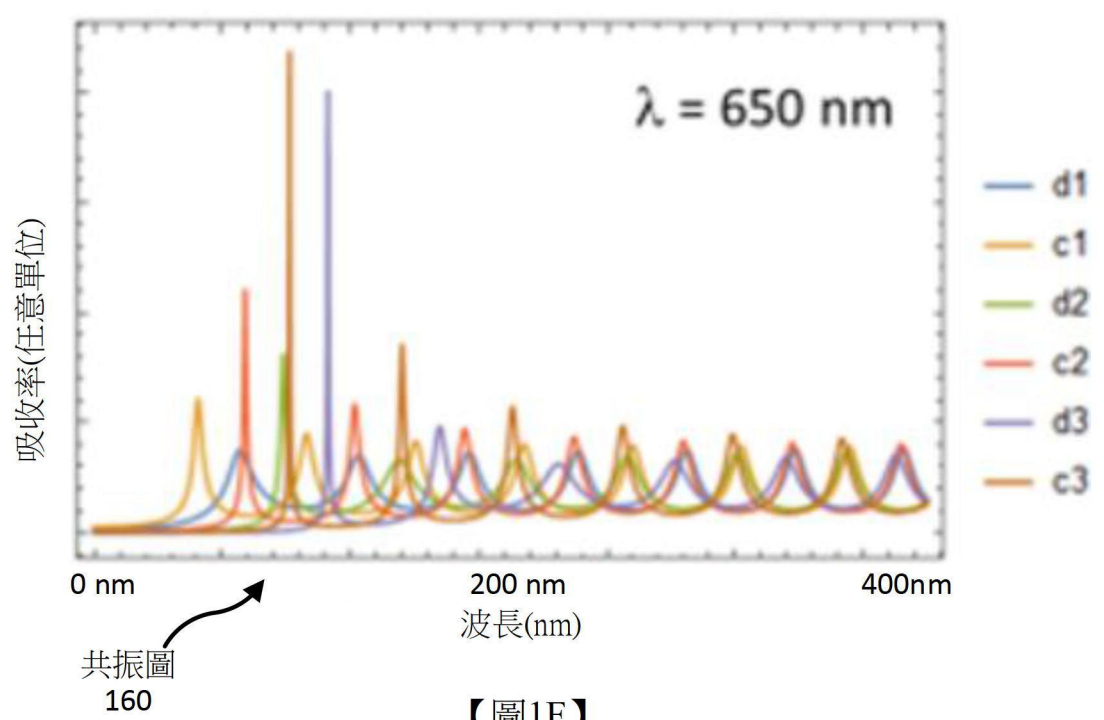
【圖1C】



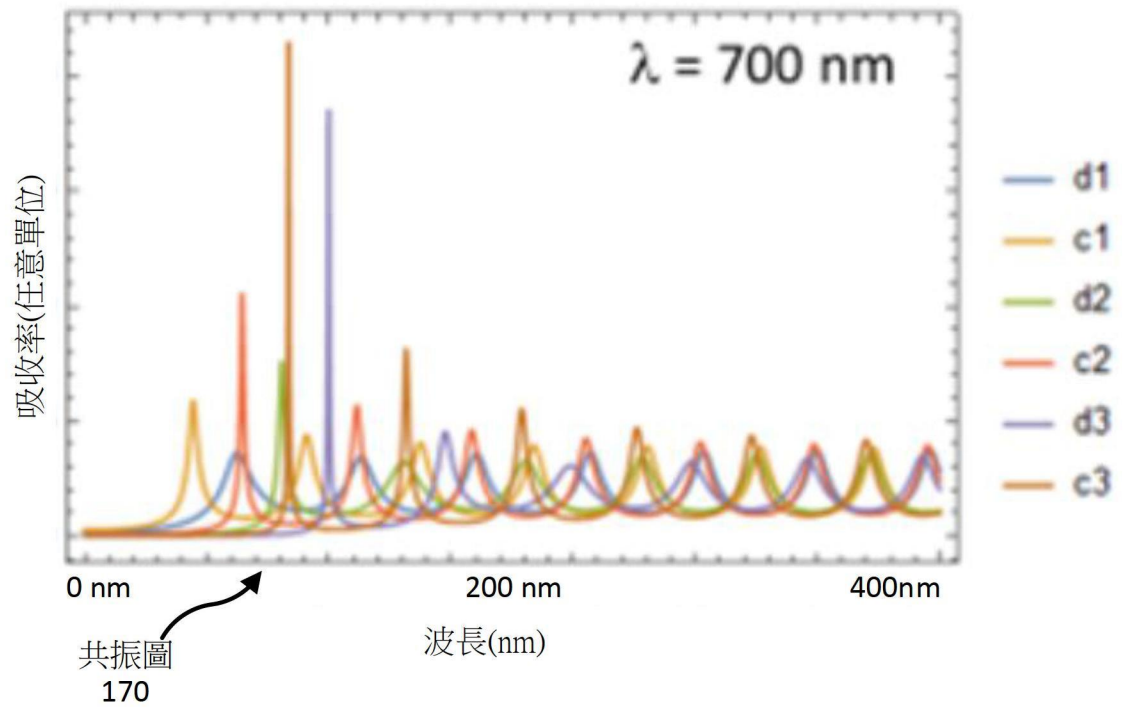
【圖1D】



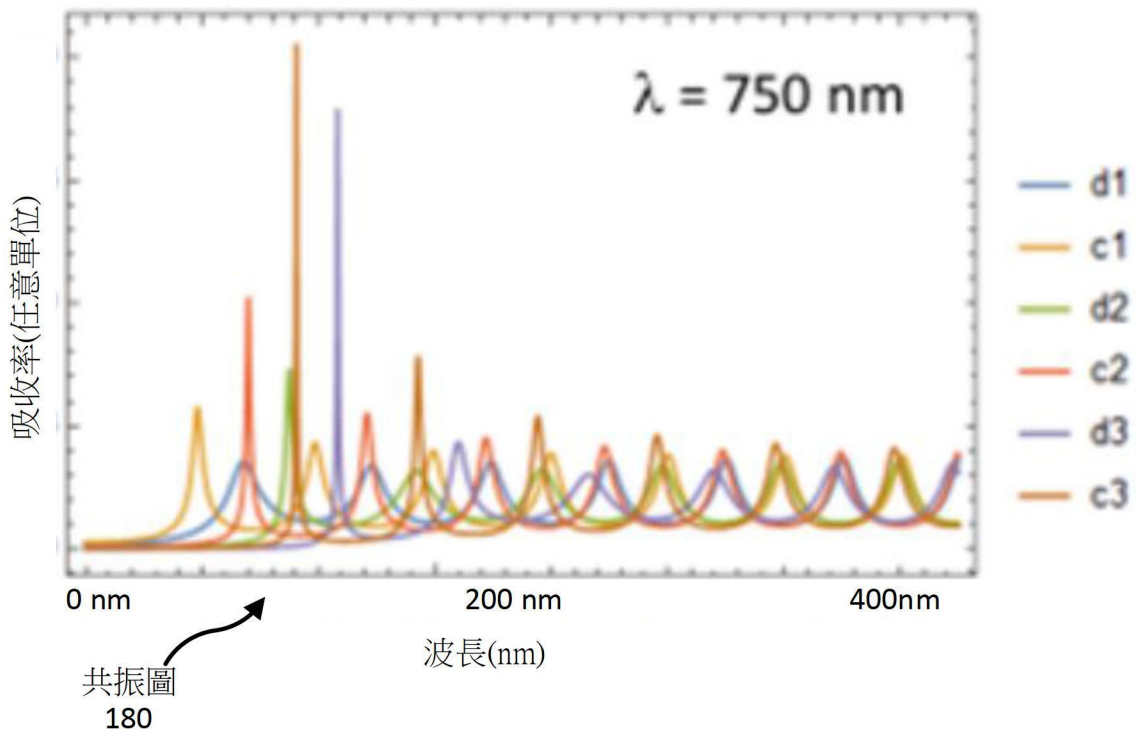
【圖1E】



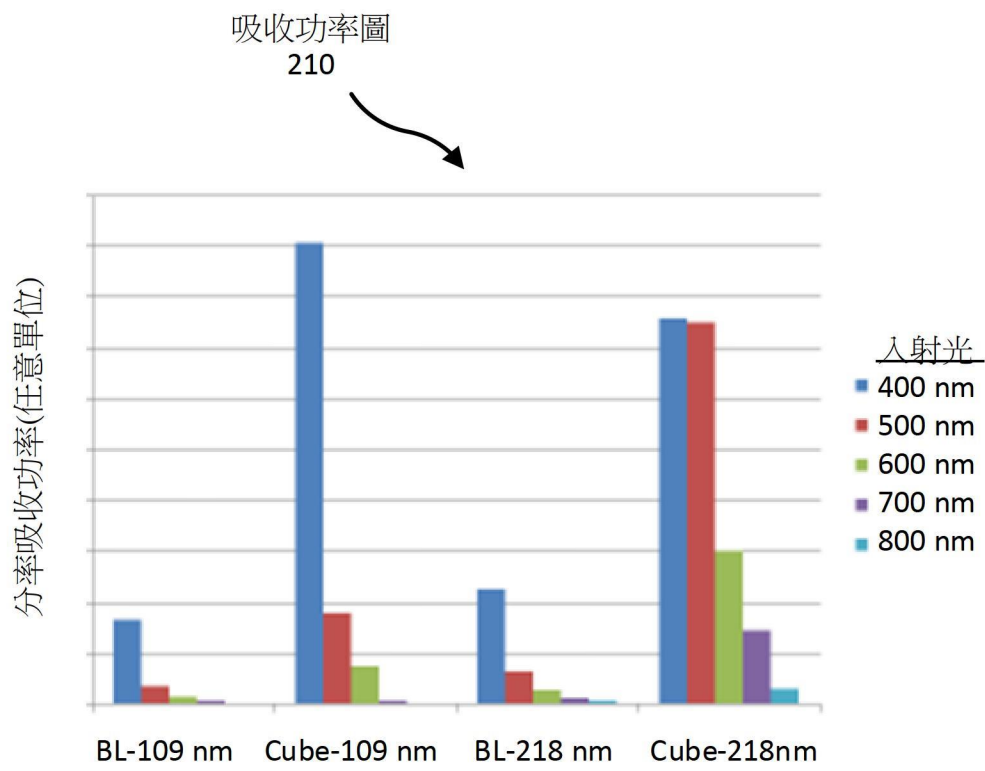
【圖1F】



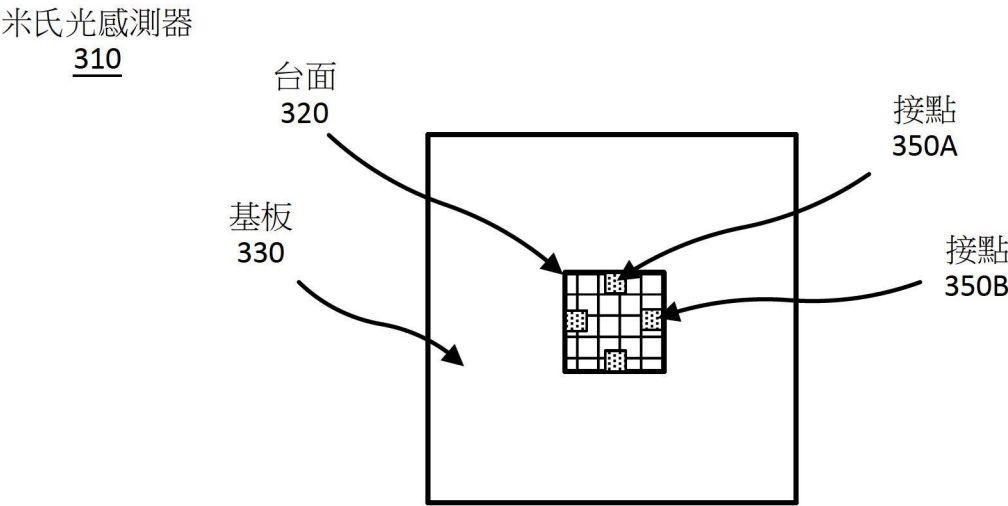
【圖1G】



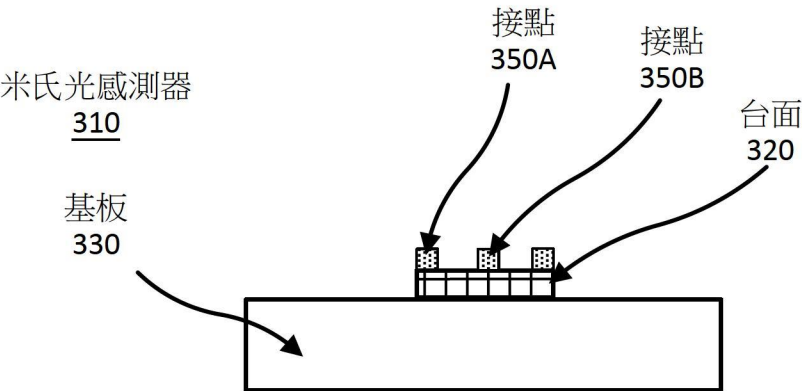
【圖1H】



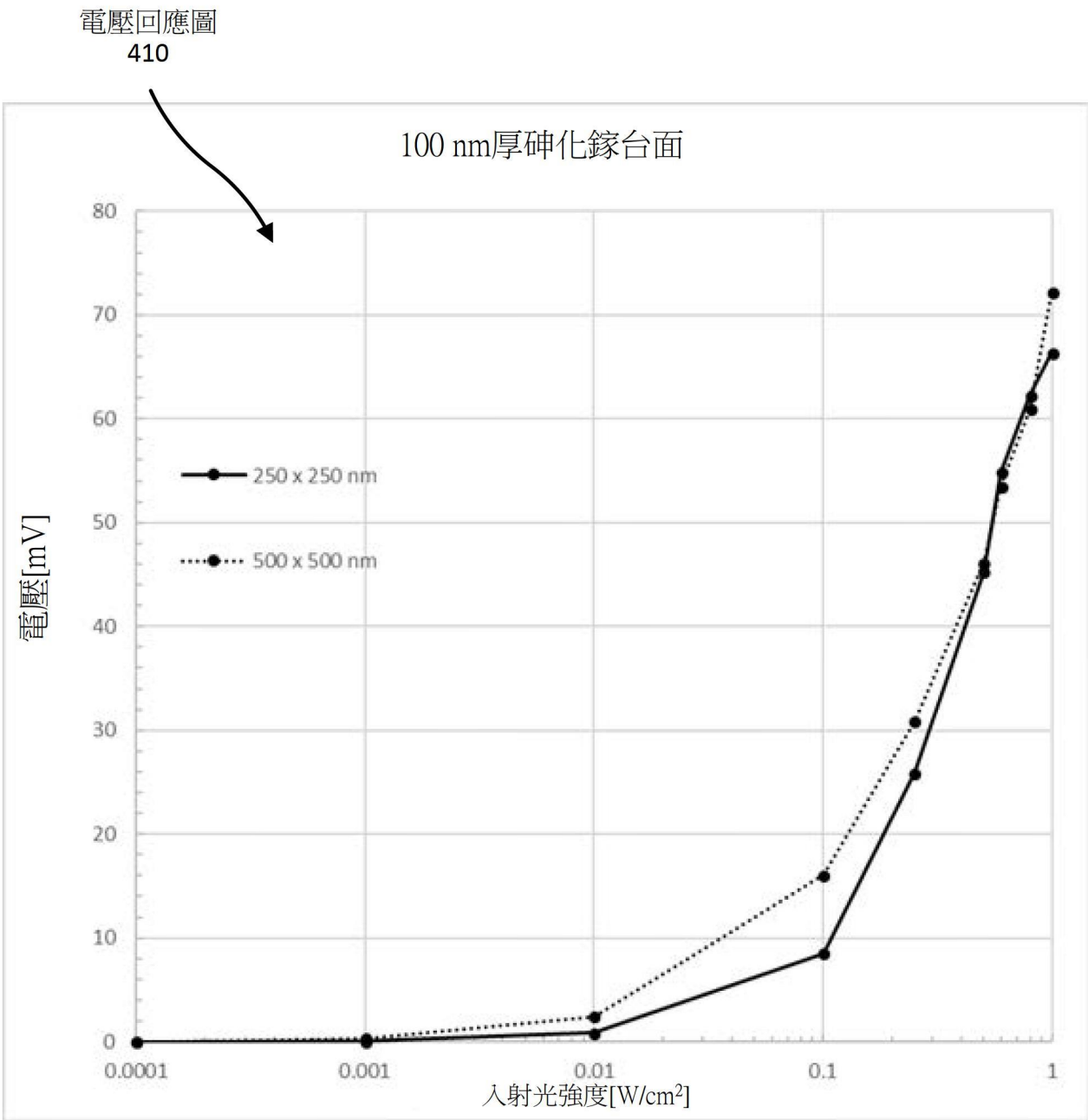
【圖2】



【圖3A】

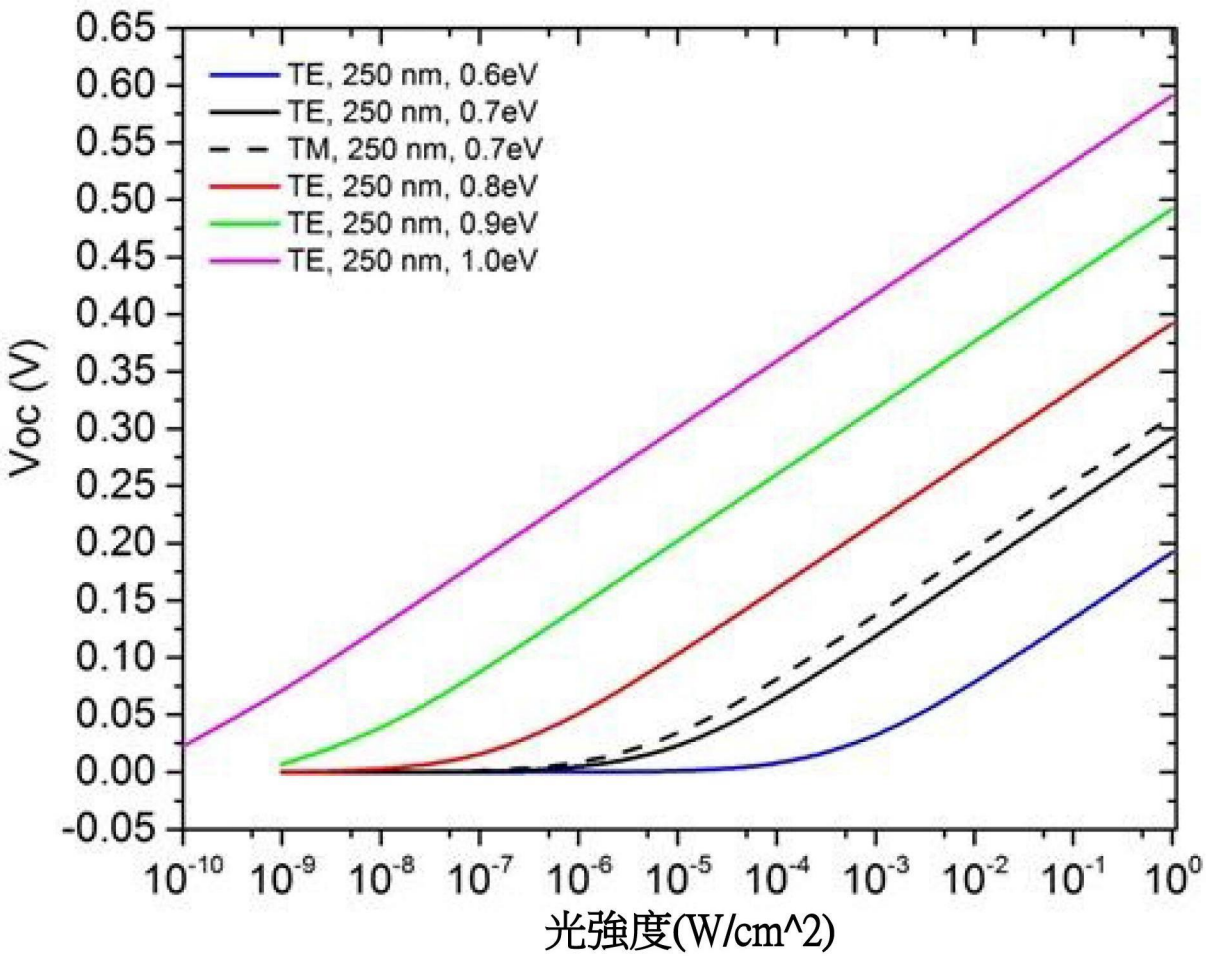


【圖3B】



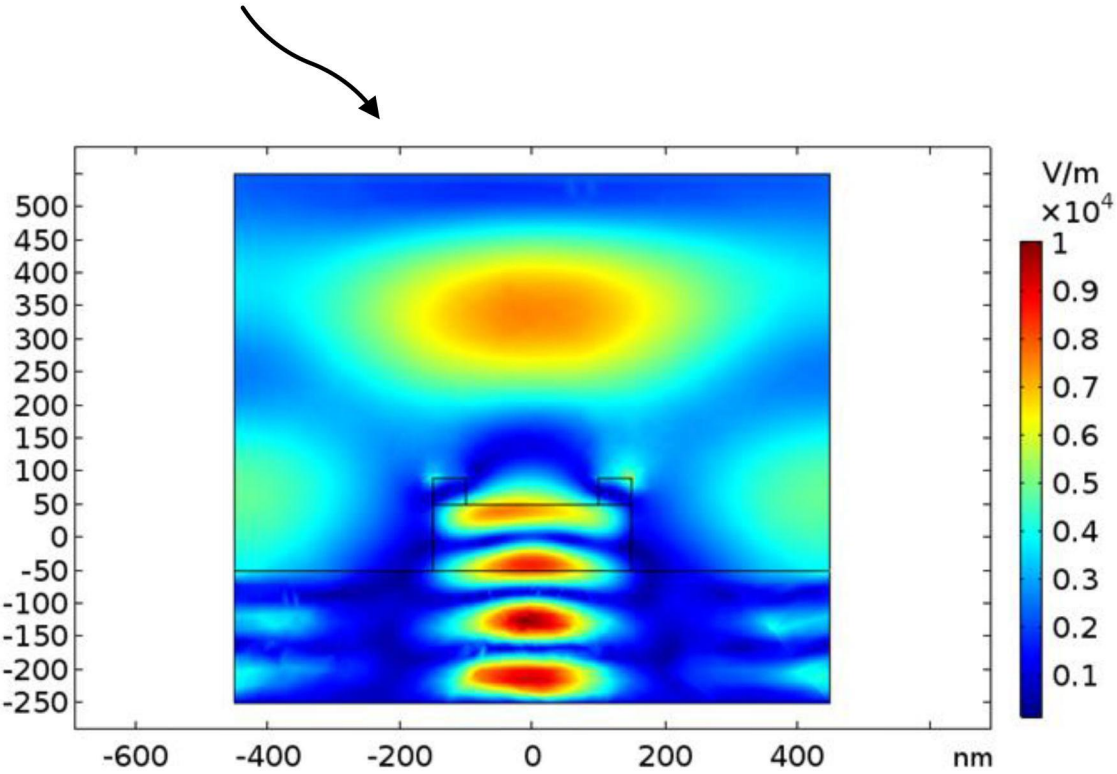
【圖4】

電壓多回應圖
510

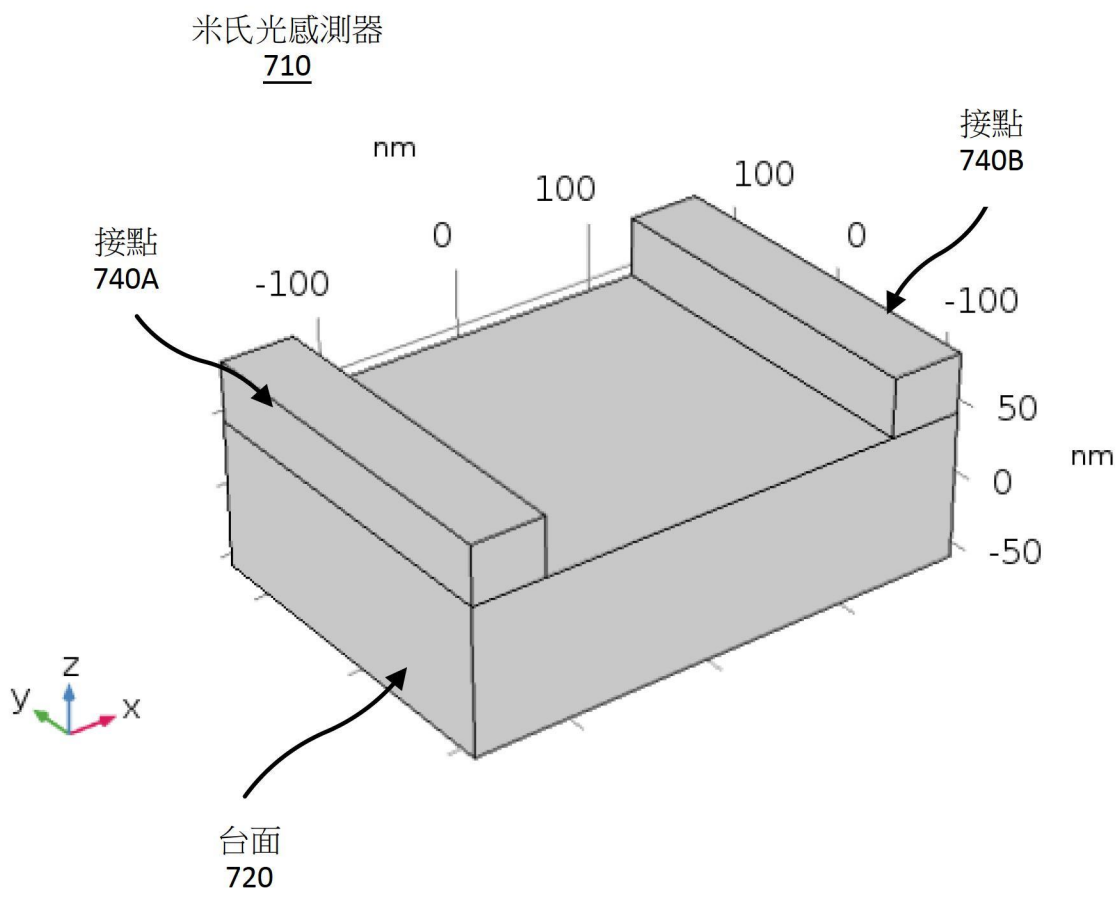


【圖5】

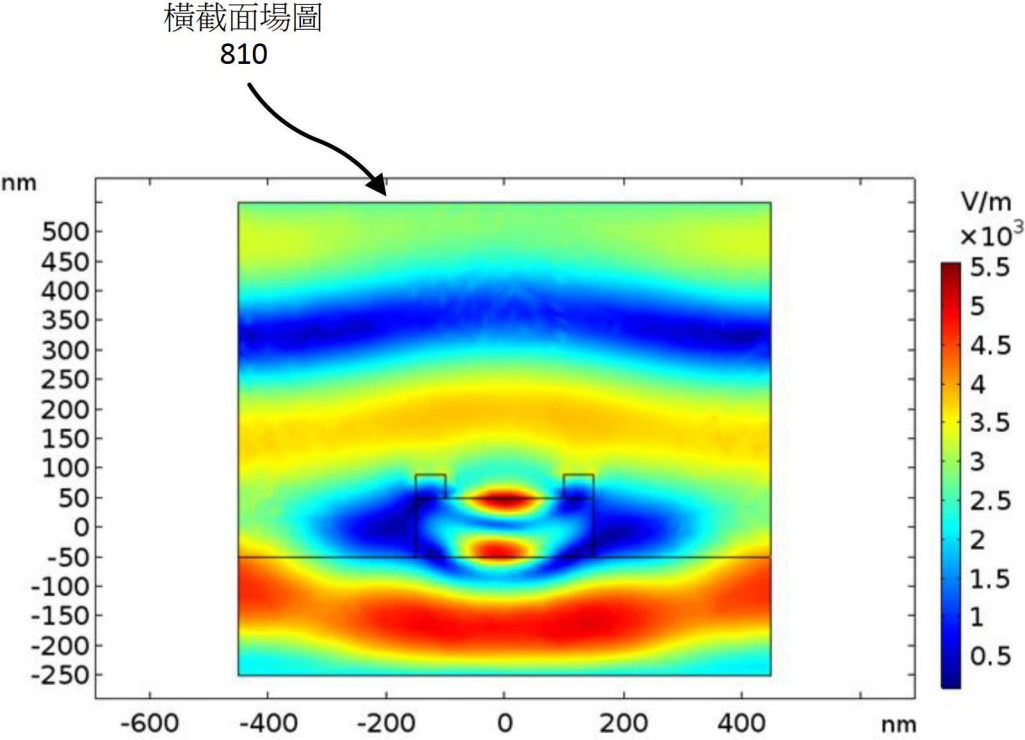
橫截面場圖
610



【圖6】

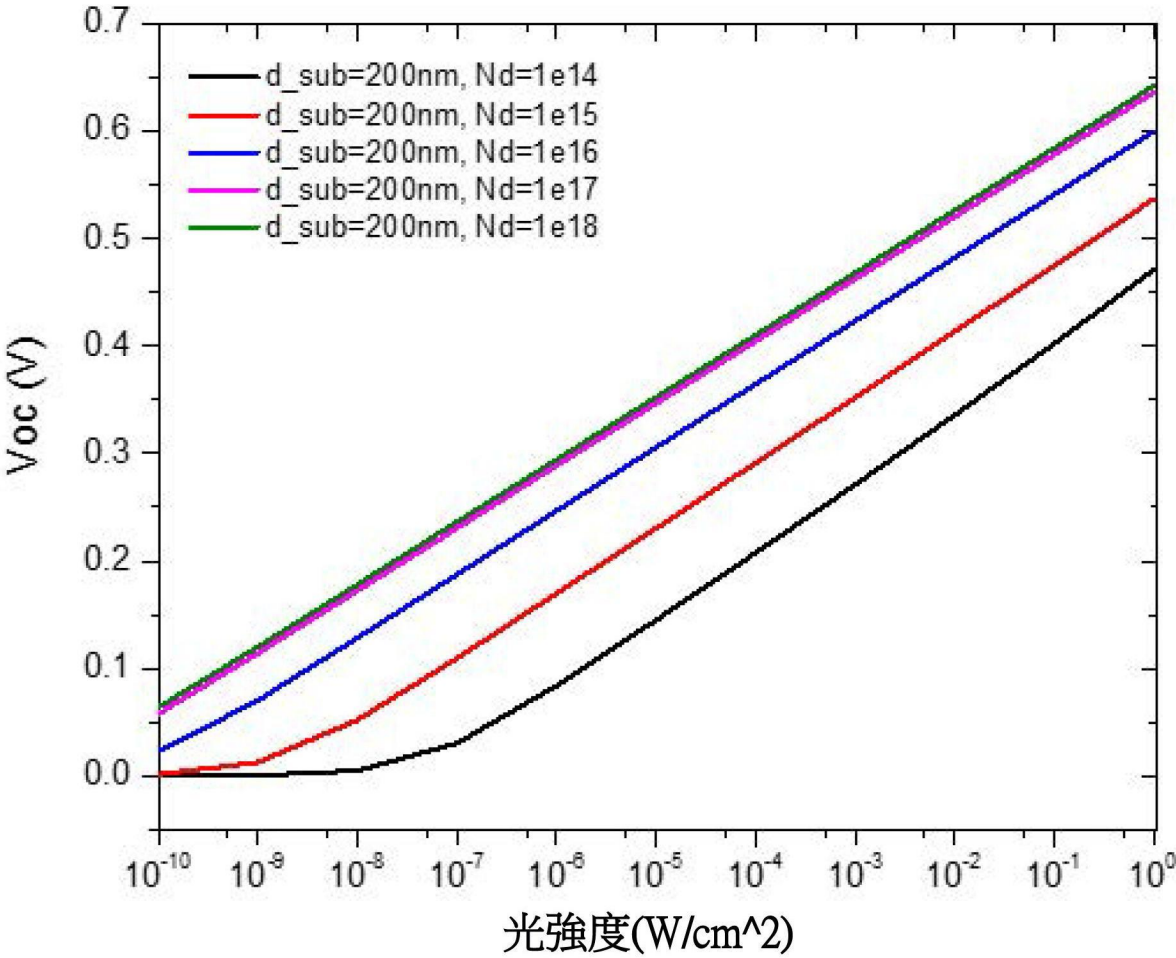


【圖7】

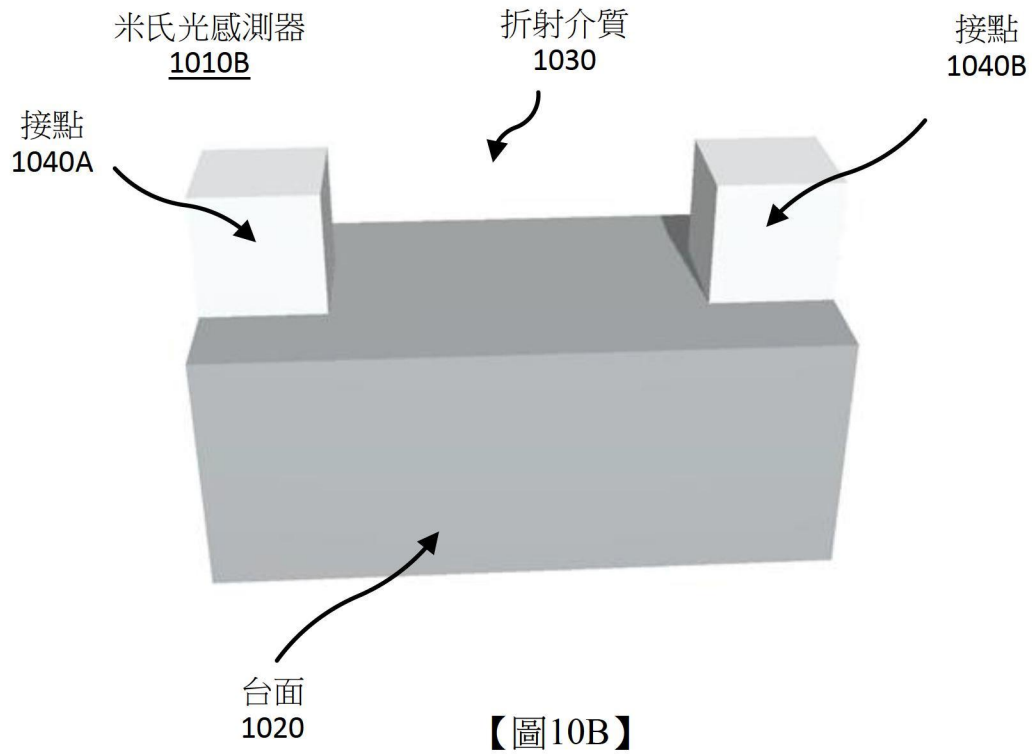
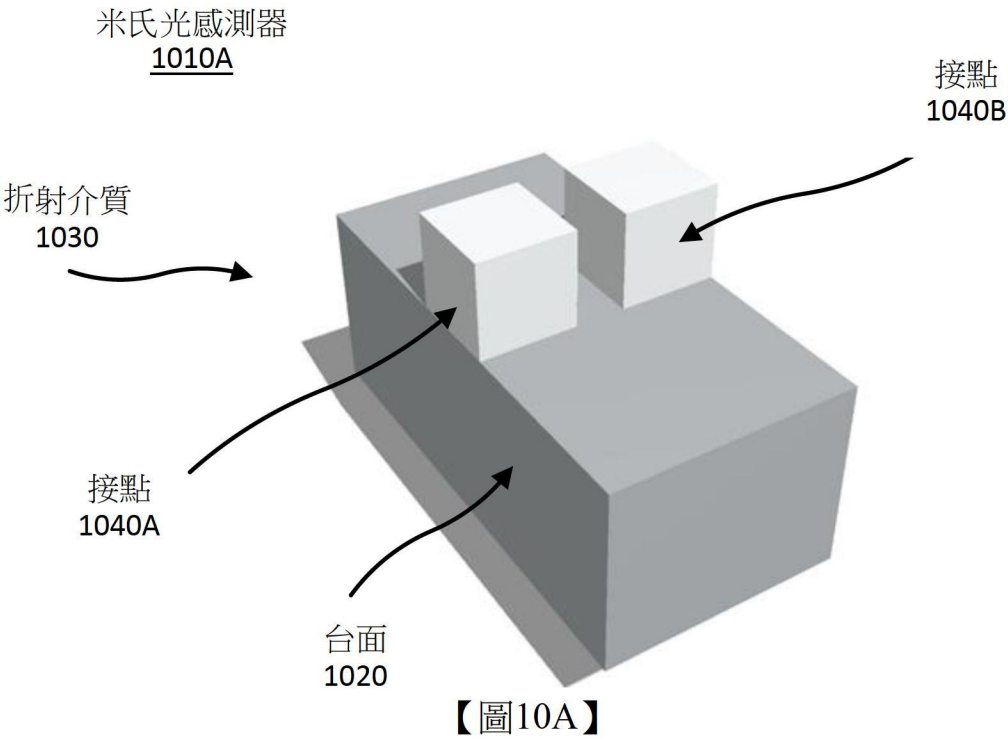


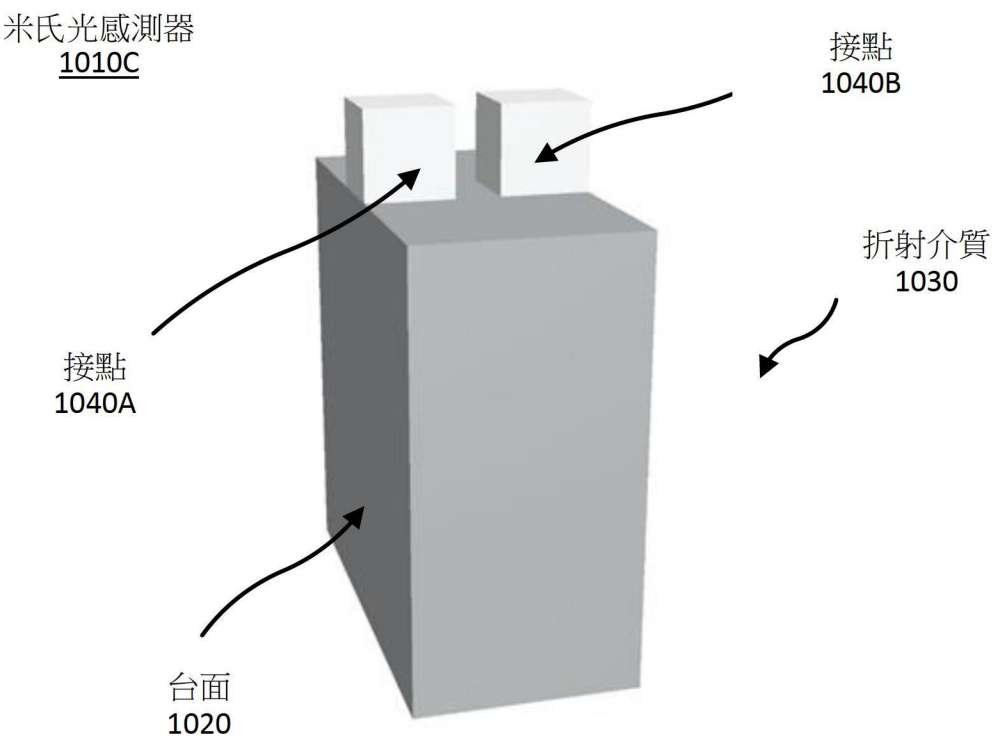
【圖8】

電壓多回應圖
910



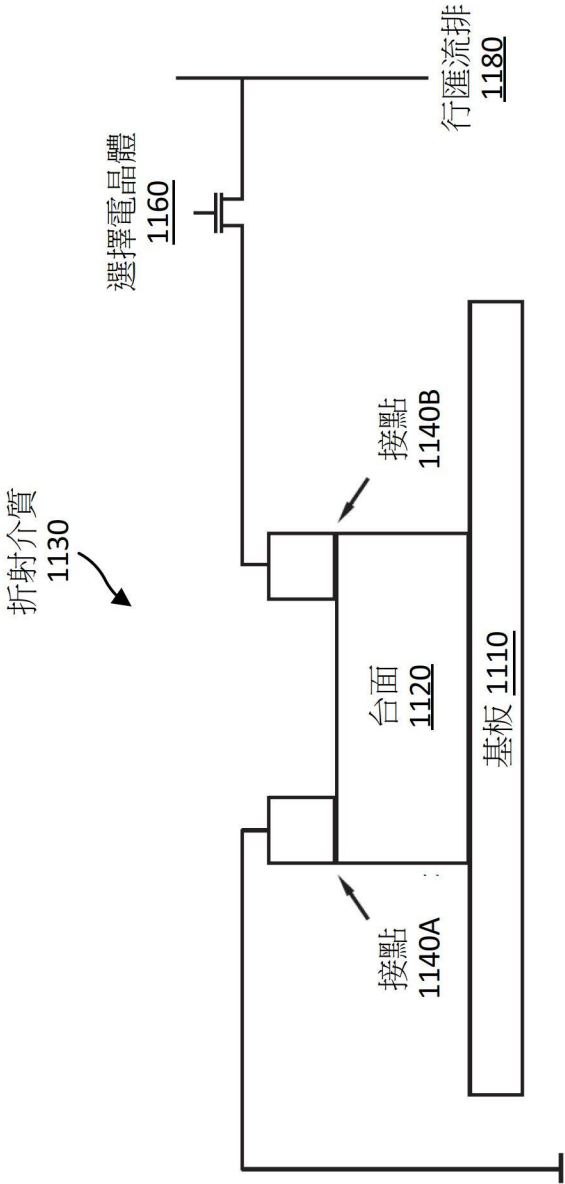
【圖9】





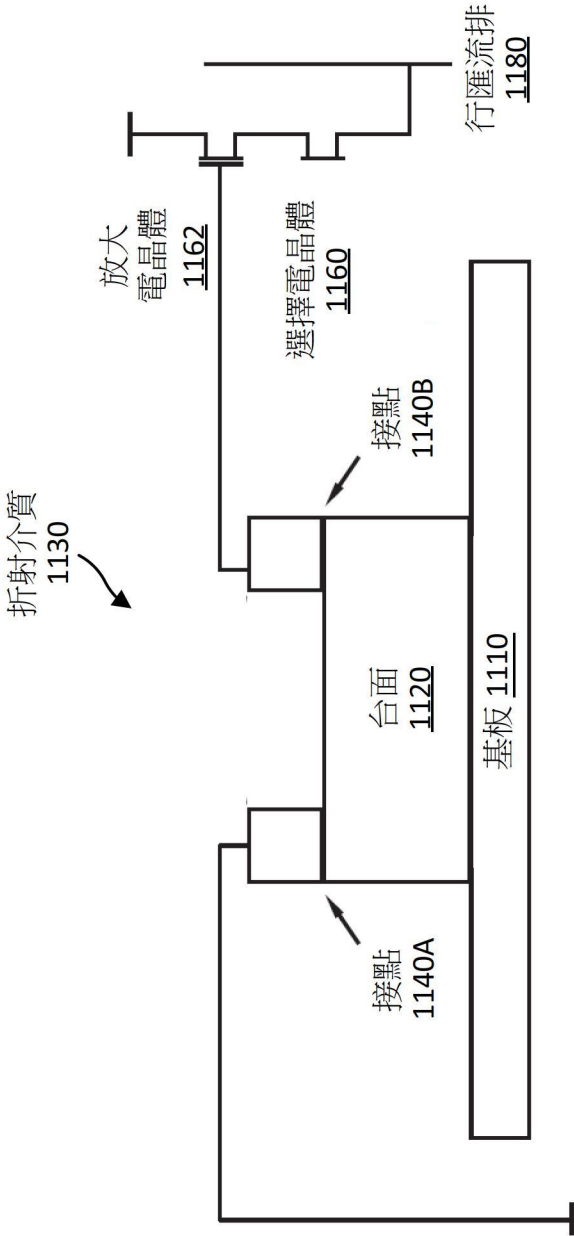
【圖10C】

米氏光感測器
1100A



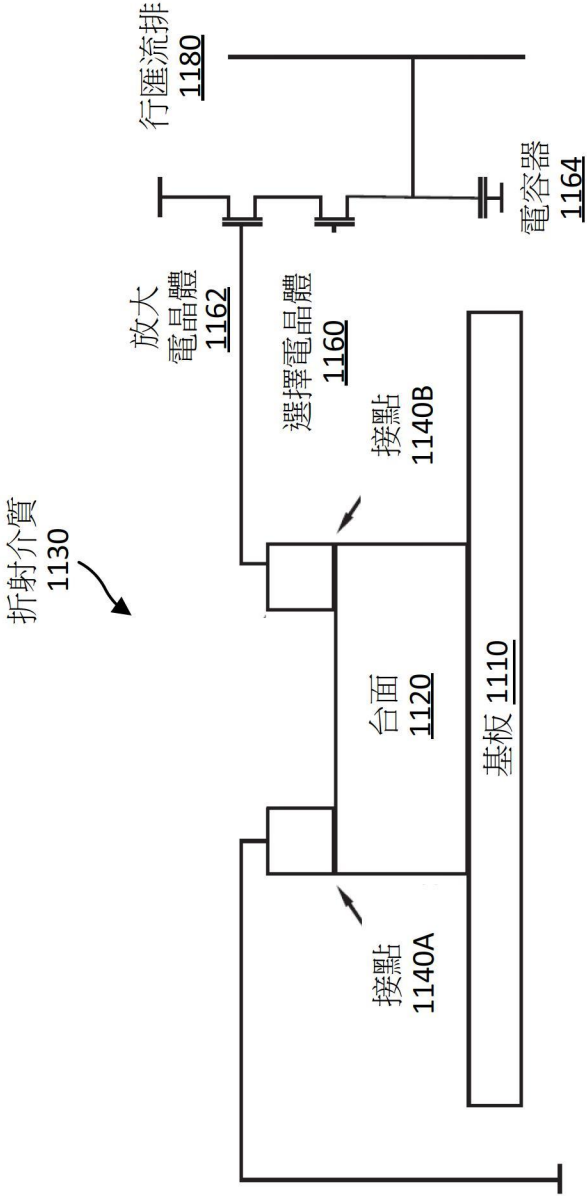
【圖11A】

像素
1100B



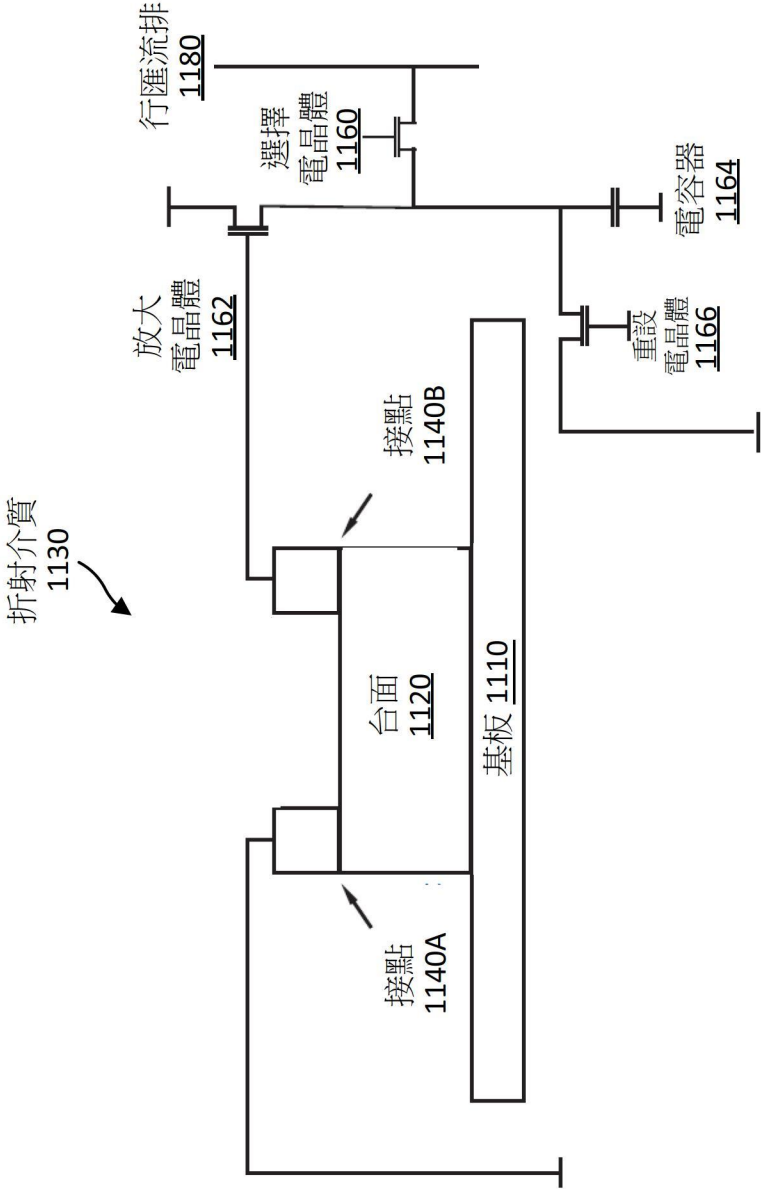
【圖11B】

像素
1100C



【圖11C】

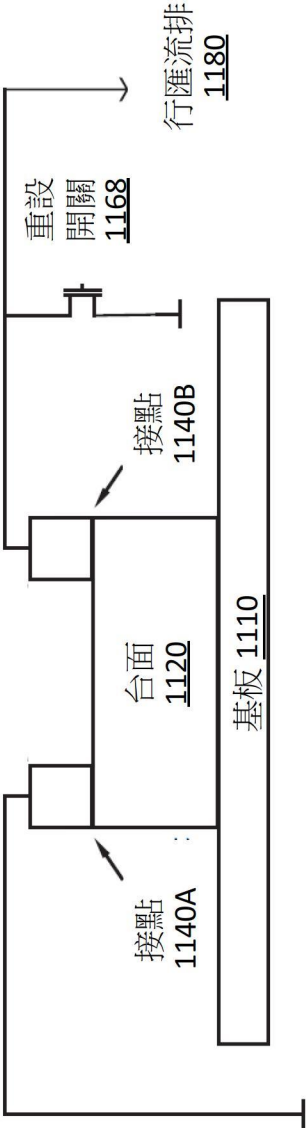
像素
1100D



【圖11D】

像素
1100E

折射介質
1130



【圖11E】