



(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 I720194 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：106115207

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 05 月 08 日

(51)Int. Cl. : **G02B5/18 (2006.01)****G02B27/01 (2006.01)**

(30)優先權：2016/05/06 美國

62/333,067

2017/03/21 美國

62/474,432

(71)申請人：美商麥吉克利普公司 (美國) MAGIC LEAP, INC. (US)

美國

(72)發明人：林滇敏 LIN, DIANMIN (CN)；梅里 毛羅 MELLI, MAURO (IT)；希萊爾 彼爾

ST HILAIRE, PIERRE ST. (US)；卑路斯 克里斯多弗 PEROZ, CHRISTOPHE

(FR)；波利爾科夫 葉夫根尼 尤里 POLIAKOV, EVGENI YURIY (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201546580A

US 2015/0178939A1

US 2015/0219842A1

US 2016/0077261A1

Francesco Aieta, Mikhail A. Kats, Patrice Genevet, Federico Capasso, "Multiwavelength achromatic metasurfaces by dispersive phase compensation", Science Vol. 347, 20 March 2015, page 1342-1345.

審查人員：劉守禮

申請專利範圍項數：51 項 圖式數：23 共 107 頁

(54)名稱

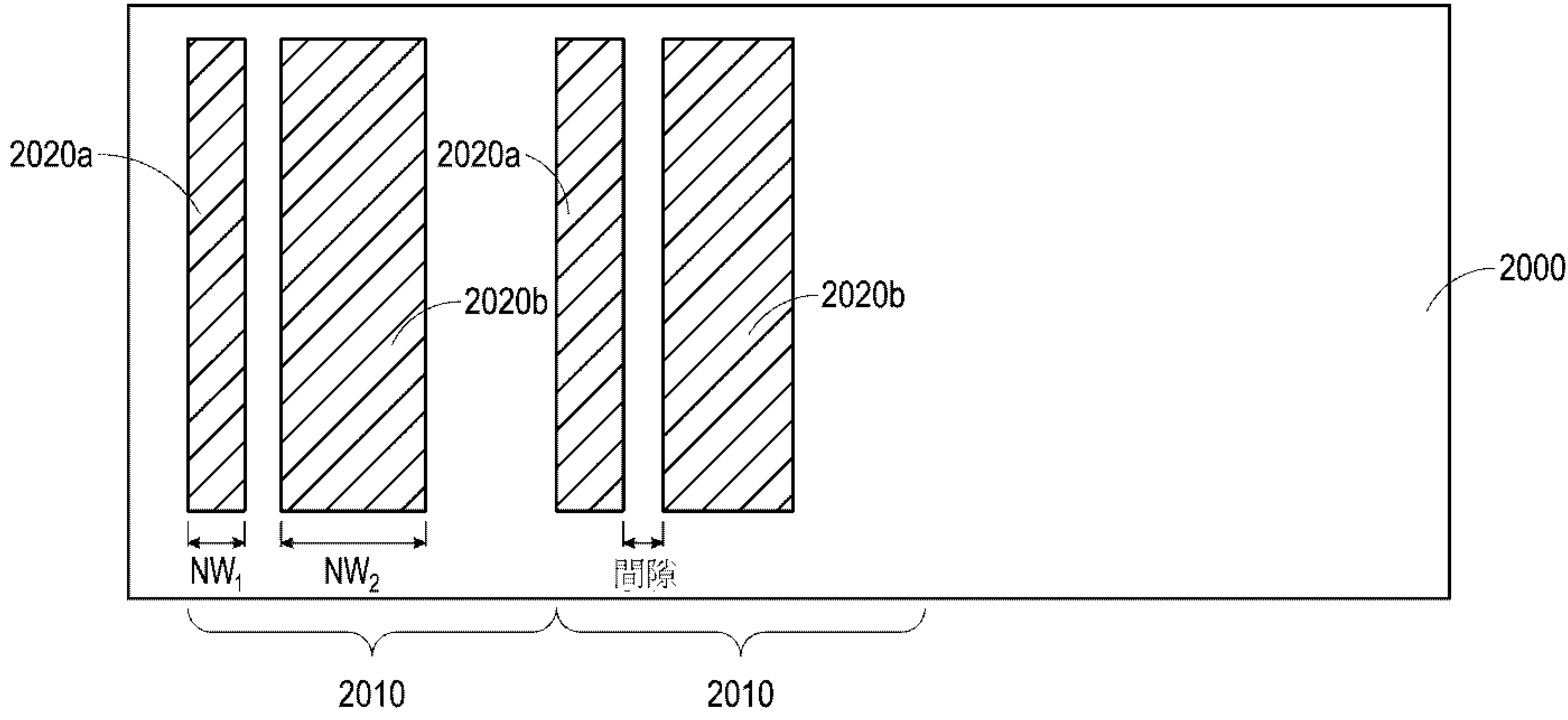
用於重新定向光線之具有不對稱光柵之超穎介面及其製造之方法

(57)摘要

本發明揭示一種光學系統，其包括一光學透射基板，該光學透射基板包含一超穎介面 (metasurface)，其包括含複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。單元晶胞之一節距係 10 nm 至 1 μ m。該第一奈米樑及該第二奈米樑之高度係：10 nm 至 450 nm，在該基板之一折射率係大於 3.3 之處；及 10 nm 至 1 μ m，在折射率係 3.3 或更小之處。

An optical system comprises an optically transmissive substrate comprising a metasurface which comprises a grating comprising a plurality of unit cells. Each unit cell comprises a laterally-elongated first nanobeam having a first width; and a laterally-elongated second nanobeam spaced apart from the first nanobeam by a gap, the second nanobeam having a second width larger than the first width. A pitch of the unit cells is 10 nm to 1 μ m. The heights of the first and the second nanobeams are: 10 nm to 450 nm where a refractive index of the substrate is more than 3.3; and 10 nm to 1 μ m where the refractive index is 3.3 or less.

指定代表圖：



【圖10B】

符號簡單說明：

- 2000 . . . 基板/波導
- 2010 . . . 超穎介面單元晶胞
- 2020a . . . 奈米樑
- 2020b . . . 奈米樑
- NW_1 . . . 寬度
- NW_2 . . . 寬度



【中文發明名稱】

用於重新定向光線之具有不對稱光柵之超穎介面及其製造之方法

【英文發明名稱】

METASURFACES WITH ASYMETRIC GRATINGS FOR
REDIRECTING LIGHT AND METHODS FOR FABRICATING

【中文】

本發明揭示一種光學系統，其包括一光學透射基板，該光學透射基板包含一超穎介面(metasurface)，其包括含複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。單元晶胞之一節距係10 nm至1 μ m。該第一奈米樑及該第二奈米樑之高度係：10 nm至450 nm，在該基板之一折射率係大於3.3之處；及10 nm至1 μ m，在折射率係3.3或更小之處。

【英文】

An optical system comprises an optically transmissive substrate comprising a metasurface which comprises a grating comprising a plurality of unit cells. Each unit cell comprises a laterally-elongated first nanobeam having a first width; and a laterally-elongated second nanobeam spaced apart from the first nanobeam by a gap, the second nanobeam having a second width larger than the first width. A pitch of the unit cells is 10 nm to 1 μ m. The heights of the first and the second nanobeams are: 10 nm to 450 nm where a refractive index of the

substrate is more than 3.3; and 10 nm to 1 μm where the refractive index is 3.3 or less.

【指定代表圖】

圖10B

【代表圖之符號簡單說明】

2000	基板/波導
2010	超穎介面單元晶胞
2020a	奈米樑
2020b	奈米樑
NW ₁	寬度
NW ₂	寬度

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於重新定向光線之具有不對稱光柵之超穎介面及其製造之方法

【英文發明名稱】

METASURFACES WITH ASYMETRIC GRATINGS FOR
REDIRECTING LIGHT AND METHODS FOR FABRICATING

【技術領域】

本發明係關於包含增強實境成像及可視化系統之光學裝置。

【先前技術】

現代計算及顯示技術已促進所謂之「虛擬實境」或「增強實境」經歷之系統之發展，其中數位再現之影像或已更新之部分依其中影像似乎或可感知為真實的一方式呈現給一使用者。一虛擬實境(或「VR」)情境通常涉及在無需對於其他實際真實世界視覺輸入透明之情況下呈現數位或虛擬影像資訊；一增強實境(或「AR」)情境通常涉及呈現數位或虛擬影像資訊作為增強使用者周圍之真實世界之可視化。一混合實境(或「MR」)情境係一類型之AR情境且通常涉及整合至且回應於自然世界之虛擬物件。例如，一MR情境可包含似乎被阻擋或否則感知為與真實世界中之物件互動之AR影像內容。

參考圖1，圖中描繪一增強實境場景10。一AR技術之使用者看見以背景中之人、樹、建築為特徵之一真實世界類似公園設定20及一混凝土平台30。使用者亦感知他/她「看見」「虛擬內容」(諸如站在真實世界平台30上之一機器人雕像40，及似乎係一大黃蜂之一擬人化之一飛行中類似卡通化身特性50。此等元件50、40係「虛擬」的，原因係其等不存在於

真實世界中。因為人類視覺感知系統較複雜，所以產生在其他虛擬或真實世界影像元件之間促進虛擬影像元件之一舒服、自然感覺、豐富表現具有挑戰性。

本文所揭示之系統及方法解決與AR及VR技術有關之各種挑戰。

【發明內容】

在一些實施例中，一種光學系統包括一光學透射基板，該光學透射基板包括一超穎介面，其包括含複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。該第一奈米樑及該第二奈米樑之高度係：10 nm至450 nm，在該基板之一折射率係大於3.3之處；及10 nm至1 μm ，在該折射率係3.3或更小之處。

在一些其他實施例中，一種光學系統包括一光學透射基板，該光學透射基板包括一超穎介面，其包括含複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙。該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。該光學系統亦包括一反射器。該反射器及該基板位於該光柵之相對側上。

在其他實施例中，一種用於形成一超穎介面之方法包括：提供一光學透射基板；在該基板上提供一光學透射層；及圖案化該光學透射層以界定包括複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。該第一奈

米樑及該第二奈米樑之高度係：10 nm至450 nm，在該基板之一折射率係大於3.3之處；及10 nm至1 μm ，在該折射率係3.3或更小之處。

在一些其他實施例中，一種用於形成一超穎介面之方法包括提供一光學透射基板及形成包括複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。該方法亦包括在該間隙中及單元晶胞之間提供一層反射材料。

在一些其他實施例中，一種用於形成一超穎介面之方法包括：提供一光學透射基板；及形成包括複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。該方法進一步包括：使一層光學透射間隔材料沈積於該間隙中及單元晶胞之間；及使一反射層沈積於該層間隔材料上，其中該間隔材料使該光柵自該反射層分離。

在其他實施例中，一種光學系統包括一光學透射基板，該光學透射基板包括一超穎介面，其包括含複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

在一些其他實施例中，一種用於形成一超穎介面之方法包括：提供一光學透射基板；在該基板上提供一光學透射層；及圖案化該光學透射層以界定包括複數個單元晶胞之一光柵。各單元晶胞包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米

樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

在其他實施例中，一種光學系統包括含一多層級超穎介面之一光學透射基板。該多層級超穎介面包括含複數個多層級單元晶胞之一光柵。各單元晶胞在單元晶胞之一最低層級上包括：一橫向長形第一最低層級奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二最低層級奈米樑，其具有一第二寬度，其中該第二寬度比該第一寬度大。單元晶胞之一最上層級上係：該第一最低層級奈米樑上方之一橫向長形第一最上層級奈米樑；及該第二最低層級奈米樑上方之一橫向長形第二最上層級奈米樑。

在一些其他實施例中，一種用於形成一超穎介面之方法包括：提供一光學透射基板；在該基板上提供一光學透射層；及圖案化該光學透射層以界定複數個重複單元。各重複單元包括：一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度。該方法亦包括使一光學透射材料沈積於該第一奈米樑及該第二奈米樑上且沈積至奈米樑之間的間隙中以在奈米樑上方形成該光學透射材料之隔開坪。

下文提供額外實例性實施例。

1.一種光學系統，其包括：

一光學透射基板，其包括一超穎介面，如一俯視圖中所見，該超穎介面包括：

一光柵，其包括複數個單元晶胞，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二

奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中該第一奈米樑及該第二奈米樑之高度係：

10 nm至450 nm，在該基板之一折射率係大於3.3之處；及

10 nm至1 μm ，在該折射率係3.3或更小之處。

2.實施例1之光學系統，其中單元晶胞係橫向長形且彼此平行。

3.實施例1之光學系統，其中該超穎介面經組態以將一可見波長之入射光線繞射成一第一繞射級。

4.實施例1之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至1 μm 。

5.實施例4之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至300 nm。

6.實施例1之光學系統，其中單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

7.實施例6之光學系統，其中單元晶胞之該節距係10 nm至500 nm。

8.實施例1之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑分離達10 nm至1 μm 之一間隙。

9.實施例8之光學系統，其中該間隙係10 nm至300 nm寬。

10.實施例1之光學系統，其中該光學透射基板包括一玻璃。

11.實施例1之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括矽。

12.實施例11之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括氮化矽。

13.實施例1之光學系統，其中該光學透射基板及該超穎介面形成一偏振光束分離器。

14.實施例1之光學系統，其中該光學透射基板係一波導板。

15.實施例14之光學系統，其進一步包括光學透射基板之一堆疊，其

中單元晶胞之特徵之尺寸隨該等基板而變。

16.實施例1之光學系統，其中該超穎介面係一內耦合光學元件，其進一步包括經組態以將光線投射至該內耦合光學元件上之一影像注入裝置，其中該超穎介面經組態以重新定向光線以藉由全內反射使光線透過該基板傳播。

17.實施例1之光學系統，其中該超穎介面係一外耦合光學元件，其中該超穎介面經組態以將光線提出該基板外。

18.一種光學系統，其包括：

一光學透射基板，其包括一超穎介面，該超穎介面包括：

一光柵，其包括複數個單元晶胞，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，及

一反射器，其中該反射器及該基板位於該光柵之相對側上。

19.實施例18之光學系統，其中該反射器與該光柵隔開。

20.實施例19之光學系統，其中該光柵嵌入一光學透射材料中。

21.實施例20之光學系統，其中該光學透射材料使該反射器與該光柵隔開。

22.實施例18之光學系統，其中該基板包括：

一第二超穎介面，其位於與該超穎介面相對之該基板之一側上，該第二超穎介面包括：

一第二光柵，其包括複數個第二單元晶胞，如一俯視圖中所見，各

第二單元晶胞包括：

一橫向長形第三奈米樑；及

一橫向長形第四奈米樑；其與該第三奈米樑隔開達一間隙，其中該第四奈米樑比第三奈米樑寬。

23.實施例18之光學系統，其中單元晶胞係橫向長形且彼此平行。

24.實施例18之光學系統，其中該超穎介面經組態以將一可見波長之入射光線繞射成一第一繞射級。

25.實施例18之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至1 μm 。

26.實施例25之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至300 nm。

27.實施例18之光學系統，其中單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

28.實施例27之光學系統，其中單元晶胞之該節距係10 nm至500 nm。

29.實施例18之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑分離達10 nm至1 μm 之一間隙。

30.實施例29之光學系統，其中該間隙係10 nm至300 nm寬。

31.實施例18之光學系統，其中該光學透射基板包括一玻璃。

32.實施例18之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括矽。

33.實施例32之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括氮化矽。

34.實施例18之光學系統，其中該光學透射基板及該超穎介面形成一偏振光束分離器。

35.實施例27之光學系統，其中該光學透射基板係一波導板。

36.實施例35之光學系統，其進一步包括光學透射基板之一堆疊，其中單元晶胞之特徵之尺寸隨該等基板而變。

37.實施例18之光學系統，其中該超穎介面係一內耦合光學元件，其進一步包括經組態以將光線投射至該內耦合光學元件上之一影像注入裝置，其中該超穎介面經組態以重新定向光線以藉由全內反射使光線透過該基板傳播。

38.實施例18之光學系統，其中該超穎介面係一外耦合光學元件，其中該超穎介面經組態以將光線提出該基板外。

39.一種用於形成一超穎介面之方法，該方法包括：

提供一光學透射基板；

在該基板上提供一光學透射層；及

圖案化該光學透射層以界定包括複數個單元晶胞之一光柵，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中該第一奈米樑及該第二奈米樑之高度係：

10 nm至450 nm，在該基板之一折射率係大於3.3之處；及

10 nm至1 μm ，在該折射率係3.3或更小之處。

40.實施例39之方法，其中圖案化該光學透射層包括：

在該光學透射層上提供一光阻層；

界定該光阻層中之一圖案；及

將該圖案自該光阻層轉印至該光學透射層。

41.實施例40之方法，其進一步包括使一光學透射材料沈積於該光柵之間及該光柵上。

42.實施例41之方法，其進一步包括使一反射層形成於該光學透射材料上。

43.實施例40之方法，其中轉印包括執行一各向異性蝕刻。

44.一種用於形成一超穎介面之方法，該方法包括：

提供一光學透射基板；

形成包括複數個單元晶胞之一光柵，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，且在該間隙中及單元晶胞之間提供一層反射材料。

45.實施例44之方法，其中提供該層反射材料包括使反射材料沈積於該第一奈米樑及該第二奈米樑之間及該第一奈米樑及該第二奈米樑上。

46.實施例45之方法，其中該反射材料包括鋁。

47.實施例44之方法，其中形成該光柵包括：

使一光學透射層沈積於該基板上；及

圖案化該光學透射層以界定該光柵。

48.實施例47之方法，其中圖案化該光學透射層包括：

在該光學透射層上提供一光阻層；

界定該光阻層中之一圖案；及

將該圖案自該光阻層轉印至該光學透射層。

49.一種用於形成一超穎介面之方法，該方法包括：

提供一光學透射基板；

形成包括複數個單元晶胞之一光柵，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

使一層光學透射間隔材料沈積於該間隙中及單元晶胞之間；及

使一反射層沈積於該層間隔材料上，其中該間隔材料使該光柵自該反射層分離。

50.實施例49之方法，其中該間隔材料具有1至2之一折射率。

51.一種光學系統，其包括：

一光學透射基板，其包括一超穎介面，該超穎介面包括：

一光柵，其包括複數個單元晶胞，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

52.實施例51之系統，其中該節距係300 nm至500 nm。

53.實施例51之系統，其中該超穎介面經組態以將一可見波長之入射光線繞射成一第一繞射級。

54.實施例51之光學系統，其中單元晶胞係橫向長形且彼此平行。

55.實施例51之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至1 μm 。

56.實施例55之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至300 nm。

57.實施例51之光學系統，其中單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

58.實施例57之光學系統，其中單元晶胞之該節距係10 nm至500 nm。

59.實施例51之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑分離達10 nm至1 μm 之一間隙。

60.實施例59之光學系統，其中該間隙係10 nm至300 nm寬。

61.實施例51之光學系統，其中該光學透射基板包括一玻璃。

62.實施例51之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括矽。

63.實施例62之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括氮化矽。

64.實施例51之光學系統，其中該光學透射基板及該超穎介面形成一偏振光束分離器。

65.實施例51之光學系統，其中該光學透射基板係一波導板。

66.實施例65之光學系統，其進一步包括光學透射基板之一堆疊，其中單元晶胞之特徵之尺寸隨該等基板而變。

67.實施例51之光學系統，其中該超穎介面係一內耦合光學元件，其進一步包括經組態以將光線投射至該內耦合光學元件上之一影像注入裝置，其中該超穎介面經組態以重新定向光線以藉由全內反射使光線透過該基板傳播。

68.實施例51之光學系統，其中該超穎介面係一外耦合光學元件，其

中該超穎介面經組態以將光線提出該基板外。

69.一種用於形成一超穎介面之方法，該方法包括：

提供一光學透射基板；

在該基板上提供一光學透射層；及

圖案化該光學透射層以界定包括複數個單元晶胞之一光柵，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

70.實施例69之方法，其中該節距係300 nm至500 nm。實施例51之方法，其中該超穎介面經組態以將一可見波長之入射光線繞射成一第一繞射級。

71.一種光學系統，其包括：

一光學透射基板，其包括一多層級超穎介面，該多層級超穎介面包括：

一光柵，其包括複數個多層級單元晶胞，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

在該單元晶胞之一最低層級上：

一橫向長形第一最低層級奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二最低層級奈米樑，其具有一第二寬度，其中該第二寬度比該第一寬度大，且

在該單元晶胞之一最上層級上：

該第一最低層級奈米樑上方之一橫向長形第一最上層級奈米樑；及
該第二最低層級奈米樑上方之一橫向長形第二最上層級奈米樑。

72.實施例71之光學系統，其中該第一最上層級奈米樑及該第二最上層級奈米樑包括不同於該第一最低層級奈米樑及該第二最低層級奈米樑之一材料。

73.實施例71之光學系統，其中該第一最低層級奈米樑及該第二最低層級奈米樑包括光阻劑。

74.實施例73之光學系統，其中該第一最低層級奈米樑及該第二最低層級奈米樑包括矽。

75.實施例74之光學系統，其中該第一最低層級奈米樑及該第二最低層級奈米樑包括氮化矽。

76.實施例73之光學系統，其中該第一最低層級奈米樑及該第二最低層級奈米樑包括一氧化物。

77.實施例76之光學系統，其中該第一最低層級奈米樑及該第二最低層級奈米樑包括氧化鈦。

78.實施例71之光學系統，其中該複數個之單元晶胞之該第一最低層級奈米樑及該第二最低層級奈米樑延伸為彼此平行。

79.實施例71之光學系統，其中該第一寬度係10 nm至250 nm。

80.實施例79之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至300 nm。

81.實施例71之光學系統，其中單元晶胞之一節距係300 nm至500 nm。

82.實施例71之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑分離達10 nm至300 nm之一間隙。

83.實施例71之光學系統，其中該光學透射基板及該超穎介面形成一偏振光束分離器。

84.實施例71之光學系統，其中該光學透射基板係一波導板。

85.實施例71之光學系統，其中該超穎介面形成一內耦合光學元件，其進一步包括經組態以將光線投射至該內耦合光學元件上之一影像注入裝置，其中該超穎介面經組態以重新定向光線以藉由全內反射使光線透過該基板傳播。

86.實施例84之光學系統，其進一步包括光學透射基板之一堆疊，其中單元晶胞之特徵之尺寸隨該等基板而變，其中該超穎介面係一內耦合光學元件，其進一步包括經組態以將光線投射至該內耦合光學元件上之一影像注入裝置，其中該超穎介面經組態以重新定向光線以藉由全內反射使光線透過該基板傳播。

87.實施例71之光學系統，其中該超穎介面係一外耦合光學元件，其中該超穎介面經組態以將光線提出該基板外。

88.實施例71之光學系統，其中該光柵嵌入一光學透射材料中。

89.一種用於形成一超穎介面之方法，該方法包括：

提供一光學透射基板；

在該基板上提供一光學透射層；及

圖案化該光學透射層以界定複數個重複單元，如一俯視圖中所見，各重複單元包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開達一間隙，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，及

使一光學透射材料沈積於該第一奈米樑及該第二奈米樑上且沈積至奈米樑之間間隙中且在奈米樑上方形成該光學透射材料之隔開坪。

90.實施例89之方法，其中該光學透射材料具有比該圖案化光阻或該基板高之一折射率。

91.實施例89之方法，其中圖案化該光學透射層包括圖案化光阻。

92.實施例91之方法，其中圖案化該光阻包括將該圖案壓印至該光阻中。

93.實施例91之方法，其中沈積該光學透射材料包括將該光學透射材料旋塗於該圖案化光阻上。

94.實施例91之方法，其中沈積該光學透射材料包括執行該光學透射材料之一保形沈積或一定向沈積。

95.實施例94之方法，其中該保形沈積包括該光學透射材料之化學氣相沈積或原子層沈積。

96.實施例95之方法，其中該定向沈積包括蒸鍍或濺鍍該光學透射材料。

97.實施例89之方法，其中該第一寬度係10 nm至250 nm。

98.實施例97之方法，其中該第二寬度係10 nm至300 nm。

99.實施例89之方法，其中單元晶胞之一節距係300 nm至500 nm。

100.實施例89之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑分離達10 nm至300 nm之一間隙。

101.實施例89之方法，其中該光學透射基板係一波導。

詳細描述、圖及申請專利範圍中描述本發明之額外及其他目的、特徵及優點。

【圖式簡單說明】

圖1繪示通過一增強實境(AR)裝置之AR之一使用者之所見景象。

圖2繪示用於模擬一使用者之三維影像之一習知顯示系統。

圖3A至圖3C繪示曲率之半徑與焦點半徑之間的關係。

圖4A繪示人類視覺系統之調節-聚散回應之一表示。

圖4B繪示使用者之一對眼睛之不同調節狀態及聚散狀態之實例。

圖4C繪示經由一顯示系統觀察內容之一使用者之一俯視圖之一表示的一實例。

圖4D繪示經由一顯示系統觀察內容之一使用者之一俯視圖之一表示的另一實例。

圖5繪示用於藉由修改波前發散來模擬三維影像之一方法之態樣。

圖6繪示用於將影像資訊輸出至一使用者之一波導堆疊之一實例。

圖7繪示由一波導輸出之出射光束之一實例。

圖8繪示其中各深度平面包含使用多個不同組分色彩形成之影像之一堆疊波導總成之一實例。

圖9A繪示各包含一內耦合光學元件之一組堆疊波導之一實例之一橫截面側視圖。

圖9B繪示圖9A之複數個堆疊波導之一實例之一透視圖。

圖9C繪示圖9A及圖9B之複數個堆疊波導之一實例之一俯視平面圖。

圖9D繪示可佩戴顯示系統之一實例。

圖10A及圖10B分別繪示一超穎介面之橫截面側視圖及俯視圖之實例。

圖11A繪示經組態以一反射模式作用之一超穎介面之一橫截面側視

圖之一實例。

圖11B繪示如在圖11A之平面11B上觀察之圖11A之超穎介面之一橫截面俯視圖的一實例。

圖12繪示經組態以以一反射模式作用之另一超穎介面之一橫截面側視圖之一實例。

圖13繪示如在圖12之平面13上觀察之圖12之超穎介面之一橫截面俯視圖的一實例。

圖14A繪示具有透射及反射超穎介面兩者之一基板之一橫截面側視圖之一實例。

圖14B繪示圖14A之超穎介面之一俯視圖之一實例。

圖14C繪示在圖14A之平面14C上觀察之圖14A之超穎介面之一俯視圖的一實例。

圖15A至圖15E繪示用於形成一超穎介面之一程序流程之一實例。

圖16A及圖16B繪示一超穎介面之掃描電子顯微圖。

圖17繪示展示一透射超穎介面之繞射效率對光線之入射角之一圖表的一實例。

圖18A至圖18C繪示展示一反射超穎介面之繞射效率對光線之入射角之圖表的實例。入射光線之波長對於圖18A至圖18C之各者係不同的。

圖19A及圖19B繪示展示圖10A及圖10B之超穎介面之偏振靈敏度之圖表的實例。

圖20繪示圖10A及圖10B之超穎介面之振幅及相移對奈米樑寬度之圖表。

圖21A繪示一多層級超穎介面之一橫截面側視圖之一實例。

圖21B繪示依據具有圖21A中所展示之一般結構之一光學結構之光線之入射角透射及反射之一圖表之一實例。

圖22A繪示一多層級超穎介面之一橫截面側視圖之一實例。

圖22B繪示依據具有圖22A中所展示之一般結構之一光學結構之光線之入射角透射及反射之一圖表之一實例。

圖23A至圖23D繪示用於形成多層級超穎介面之一程序流程之一實例。

提供圖式以繪示本文所描述之實例性實施例且不意欲限制本發明之範疇。應瞭解圖式係示意性的且未必按比例繪製。

【實施方式】

優先請求項

本申請案根據35 U.S.C. §119(e)規定主張以下優先權利：2016年5月6日申請之美國臨時申請案第62/333,067號；及2017年3月21日申請之美國專利申請案第62/474,432號。此等優先文件之各者之全部內容以引用的方式併入本文中。

以引用的方式併入

本申請案以引用的方式併入以下專利公開案之各者之全部內容：美國公開案第2015/0016777號；美國公開案第2015/0178939號；及美國公開案第2015/0346490號。

超穎介面(超材料表面)提供以相較於幾何光學器件小很多之尺度實現實際上扁平、無像差光學器件之機會。不受理論限制，在一些實施例中，超穎介面包含用作為諧振光學天線之表面結構之密集配置。光線表面結構互動之諧振本質提供操縱光學波前之能力。在一些情況中，超穎介面可允

許替代大型或難以使用由簡單圖案化程序形成之薄平面元件製造光學組件。

一類型之一習知光學元件係一閃耀光柵，其在一些應用可期望具有重新定向光線之高選擇性。然而，此等光柵通常具有傾斜表面且製造可具挑戰性。有利地，在一些實施例中，所揭示之超穎介面(類似於一閃耀光柵)能夠在可見範圍內重新定向光線同時具有一寬範圍之入射角之一相對平坦回應，且同時提供一更容易製造之結構。

超穎介面可呈由複數個重複單元晶胞形成之一不對稱光柵之形式。各單元晶胞包括兩個橫向長形突出，其等亦可指稱奈米樑或奈米線，其中一突出比另一突出寬。如本文所使用，一突出、奈米樑或奈米線係一長形體積之材料(例如一單一實質上均質材料)。應瞭解此等長形結構不受限於任何特定橫截面形狀。在一些實施例中，橫截面形狀係矩形。特定言之，奈米樑具有一次波長寬度且彼此間隔。例如，奈米樑之寬度可比超穎介面經組態以重新定向之光線之波長小。在一些實施例中，由奈米樑形成之單元晶胞可位於一光學透射基板(例如一波導)之表面上或接近該表面。

在一些實施例中，超穎介面可以其中光線自超穎介面之一第一側入射於超穎介面上、透過超穎介面傳播且隨後在超穎介面之一相對側上傳播遠離超穎介面之一透射模式運作。光線在不同於該第一側上之光線之入射方向之一方向上傳播遠離超穎介面。

在一些其他實施例中，超穎介面可以其中光線自超穎介面之該第一側入射且在該第一側上反射回去以傳播遠離超穎介面之一反射模式運作。在反射模式中，超穎介面可包含嵌入一反射層內之奈米樑。在一些實施例中，奈米樑可嵌入一間隔層內，且一反射層可直接提供於與該第一側相對

之超穎介面之一側上之該間隔層上。

較佳地，形成超穎介面之特徵經組態以重新定向光線(例如藉由繞射)。在一些實施例中，光線係具有在350 nm至800 nm之範圍內之一波長之可見光線。在一些實施例中，超穎介面經組態以將一可見波長之入射光線繞射成一第一繞射級。

在一些實施例中，形成單元晶胞之奈米樑之寬度在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至300 nm或10 nm至250 nm)。奈米樑可分離達5 nm至1 μm 寬之範圍內(包含10 nm至1 μm 寬或10 nm至300 nm寬)之一間隙。單元晶胞之節距(即緊鄰單元晶胞中之垂直點之間的距離)可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至500 nm或300 nm至500 nm)。在一些實施例中，奈米樑之高度可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至500 nm或10 nm至450 nm)。

頃發現單元晶胞之特徵之尺寸可取決於用以形成超穎介面之材料之性質而改變。例如，奈米樑之高度可取決於用於該等奈米樑之材料之折射率而改變。在一些實施例中，奈米樑之高度可為10 nm至450 nm，在材料之一折射率係大於3.3之處；及10 nm至1 μm ，在折射率係3.3或更小之處。作為另一實例，奈米樑之高度可為10 nm至450 nm，在奈米樑由矽(例如非晶矽或多晶矽)形成之處。

在一些實施例中，超穎介面係一最低層級上之具有含如上文所述之相對窄及相對寬之奈米樑之單元晶胞的一多層級(例如雙層級)結構，及依該最低層級之奈米樑之間的一第二光學透射材料。超穎介面亦可包含由安置於超穎介面之頂面上之一第二光學透射材料形成之一第二層級。該第二層級上之材料可局部化於奈米樑之頂面上且可形成材料之隔開坪，如沿正

交於奈米樑之長度軸之一平面取得之一橫截面圖中所見。在一些實施例中，該第二層級上之材料之高度可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至600 nm)。

應瞭解，在一些實施例中，超穎介面選擇性地重新定向一些波長之光線，同時透射於其他波長之光線。此等性質通常製造微米尺度之結構(例如在光子晶體光纖或分佈式布拉格(bragg)反射器中)，同時本文中之各種實施例包含奈米尺度之幾何形狀(例如10-100x較小尺度)，且提供電磁光譜之可見部分中之光之選擇性重新定向。在一些實施例中，奈米樑可形成於一單一層級之基板之表面上，藉此提供一樣本至製造結構。有利地，可使用圖案化程序及沈積程序(例如微影及化學蝕刻)形成超穎介面。在一些實施例中，可使用納米壓印圖案化超穎介面，藉此避免昂貴微影及蝕刻程序。

根據各種實施例形成之超穎介面提供以下優點之一或多者。例如，超穎介面可具有其可重新定向或繞射光線之一相對大角度帶寬。另外，超穎介面可具有此帶寬上之一良好繞射效率。例如，繞射效率可為40°或50°(如自垂直於一表面所量測)之一角度帶寬(FWHM)上25%或更多、30%或更多或40%或更多。再者，角度帶寬上之繞射效率可有利地係扁平(例如角度帶寬上改變小於25%、20%、15%或10%)。超穎介面亦可具有一大偏轉角，其可藉由重新定向光線而有利地應用於角度帶寬內之內耦合光線使得其依適合於全內反射(TIR)之角度傳播。另外，上文所述優點可在對應於用於形成影像之不同組分色彩之光之若干波長實現。例如，波長可對應於色彩紅色、綠色及藍色(例如455 nm、520 nm及638 nm之波長)。在一反射模式中，超穎介面可提供使用一高消光比(例如，5或更大、10或更

大、20或更大)塑形之色彩選擇性光束。在一些實施例中，超穎介面展現強偏振依賴且可運作為一偏振光束分離器。例如，對於不同偏振之光，超穎介面可展現5或更大、7或更大、或9或更大之消光比。

在一些實施例中，支持超穎介面之波導可形成直視顯示裝置或近眼顯示裝置，其中波導經組態以接收輸入影像資訊且基於輸入影像資訊產生一輸出影像。此等裝置可佩戴且在一些實施例中構成眼鏡。由波導接收之輸入影像資訊可在內耦合至一或多個波導中之不同波長之多工光流(例如紅光、綠光及藍光)中編碼。內耦合光可歸因於全內反射而透過波導傳播。內耦合光可藉由一或多個外耦合光學元件自波導外耦合(或輸出)。

在一些實施例中，超穎介面係內耦合及/或外耦合光學元件。超穎介面之緊密度及平面性允許一緊密波導，及其中多個波導形成一堆疊之波導之一緊密堆疊。另外，超穎介面之高波長選擇性允許內耦合及/或外耦合光中之一高精確度，其可在其中光含有影像資訊之應用中提供高影像品質。例如，高選擇性可減少其中全色影像藉由同時輸出不同色彩或波長之光形成之組態中之通道串擾。

現將參考圖式，其中相同元件符號指稱相同特徵。

實例性顯示系統

本文所揭示之各種實施例可在光學裝置中實施以操縱或重新定向光線，且可特別有利地採用為顯示系統之部分。在一些實施例中，顯示系統呈眼鏡之形式(例如顯示系統係可佩戴的)，其可有利地提供一高度沉浸式VR或AR經歷。例如，含有用於顯示多個深度平面之波導(例如波導之一堆疊(各深度平面之一波導或波導組)之顯示器可經組態以佩戴為定向於一使用者或觀察者之眼睛前面。在一些實施例中，多個波導(例如波導之兩

個堆疊，每一堆疊用於一觀察者之各眼睛)可用以提供不同影像至各眼睛。

圖2繪示用於模擬一使用者之三維影像之一習知顯示系統。應瞭解一使用者之眼睛隔開且當看空間中之一真實物件時，各眼睛將具有該物件之一稍不同之所見景象且可在各眼睛之視網膜上之不同位置處形成該物件之一影像。此可指稱雙目像差且可由人類視覺系統利用以提供深度之一感覺。習知顯示系統模擬雙目像差的方法係藉由將具有相同虛擬物件之稍不同之所見景象之兩個不同影像190、200(每一影像用於各眼睛210、220)對應於將由各眼睛看見之虛擬物件之所見景象係虛擬物件呈現為一所要深度處之一真實物件。此等影像提供雙目線索讓使用者之視覺系統可解譯以導出深度之一感覺。

繼續參考圖2，影像190、200在一z軸上與眼睛210、220隔開達一距離230。當觀察者之眼睛固定於觀察者正前方之光學無窮遠處之一物件上時，該z軸平行於觀察者之光學軸。影像190、200係扁平的且位於離眼睛210、220一固定距離處。基於分別呈現至眼睛210、220之影像中之一虛擬物件之稍不同之所見景象，眼睛可自然旋轉使得該物件之一影像落於眼睛之各者之視網膜上之對應點上以維持單一雙目視覺。此旋轉可引起眼睛210、220之各者之視線會聚至空間中一點上使感知認為虛擬物件位在該處。因此，提供三維影像通常涉及提供可操縱使用者之眼睛210、220之聚散度及人類視覺系統解譯以提供深度之一感覺之雙目線索。

然而，產生深度之一實境及舒服感覺具有挑戰性。應瞭解來自距眼睛不同距離之物件之光具有含不同發散量之波前。圖3A至圖3C繪示光線之距離與發散之間的關係。物件與眼睛210之間的距離由(按逐漸減少之距

離) R1、R2及R3表示。如圖3A至圖3C中所展示，當至物件之距離減少時光線變得更發散。相反地，當距離增加時，光線變得更準直。換言之，可謂由一點(物件或物件之一部分)產生之光場具有一球形波前曲率，其係該點距離使用者之眼睛多遠之一函數。曲率隨著物件與眼睛210之間的減少距離而增加。儘管為了清楚僅在圖3A至圖3C及本文之其他圖中繪示一單一眼睛210，但關於眼睛210之討論可應用於一觀察者之兩個眼睛210及220。

繼續參考圖3A至圖3C，來自觀察者之眼睛固定於其上之一物件之光線可具有不同波前發散度。歸因於不同波前發散量，光線可由眼睛之晶體不同地聚焦，其繼而可能需要透鏡以採取不同形狀以在眼睛之視網膜上形成一聚焦影像。在一聚焦影像不形成於視網膜上之位置處，所得視網膜模糊構成引起眼睛之晶體之形狀之一改變的調節之一線索直至一聚焦影像形成於視網膜上。例如，調節之線索可觸發包圍眼睛之晶體之睫毛肌肉放鬆或收縮，藉此調變施加於固持晶體之懸韌帶之力，因此引起眼睛之晶體之形狀改變直至視網膜模糊被消除或最小化，藉此形成固定於眼睛之視網膜/窩上之物件之一聚焦影像。眼睛之晶體藉此改變形狀之程序可稱作調節，且需要形成固定於眼睛之視網膜/窩上之物件之一聚焦影像的眼睛之晶體之形狀可稱作一調節狀態。

現參考圖4A，圖中繪示人類視覺系統之調節-聚散回應之一表示。用於固定一物件上之眼睛之移動引起眼睛自該物件接收光線，其中光線使一影像形成於眼睛之視網膜之各者上。形成於視網膜上之影像中之視網膜模糊之存在可提供調節之一線索，且視網膜上之影像之相對位置可提供聚散度之一線索。調節之線索引起調節發生，從而導致眼睛之晶體各採取使物

件之一聚焦影像形成於眼睛之視網膜/窩上之一特定調節狀態。另一方面，聚散度之線索引起聚散移動(眼睛之旋轉)發生使得形成於各眼睛之各視網膜上之影像位於維持單一雙目視覺之對應視網膜點處。在此等位置中，眼睛可謂已達到一特定聚散狀態。繼續參考圖4A，調節可理解為眼睛藉此達成一特定調節狀態之程序，且聚散度可理解為眼睛藉此達成一特定聚散狀態之程序。如圖4A中所指示，若使用者固定於另一物件上，則眼睛之調節狀態及聚散狀態可改變。例如，若使用者固定於z軸上之一不同深度處之一新物件上，則調節狀態可改變。

不受理論限制，據信歸因於聚散及調節之一組合，一物件之觀察者可將該物件感知為「三維」。如上所述，兩個眼睛相對於彼此之聚散移動(例如眼睛之旋轉，使得瞳孔朝向或遠離彼此移動以收斂眼睛之視線以固定於一物件上)與眼睛之晶體之調節緊密相關聯。在正常條件下，改變眼睛之晶體之形狀以改變一不同距離處之自一物件至另一物件之聚焦將自動引起在稱為「調節-聚散反射」之一關係下聚散中之一匹配變化至相同距離。同樣地，在正常條件下，聚散度中之一變化將觸發晶體形狀中之一匹配變化。

現參考圖4B，圖中繪示眼睛之不同調節狀態及聚散狀態之實例。該對眼睛222a固定於光學無窮遠處之一物件上，而該對眼睛222b固定於小於光學無窮遠處之一物件221上。顯著地，各對眼睛之聚散狀態係不同的，其中該對眼睛222a定向為筆直向前，而該對眼睛222收斂於物件221上。形成各對眼睛222a及222b之眼睛之調節狀態亦係不同的，如晶體210a、220a之不同形狀所表示。

非所要地，習知「3-D」顯示系統之諸多使用者發現此等習知系統不

舒服或歸因於此等顯示器中之調節狀態與聚散狀態之間的一失配而完全不可感知深度之一感覺。如上所述，諸多立體或「3-D」顯示系統藉由提供稍不同之影像至各眼睛而顯示一場景。此等系統對應諸多觀察者係不舒服的，此係由於其等尤其僅提供一場景之不同表示且引起眼睛之聚散狀態之改變，但無需該等眼睛之調節狀態之一對應變化。確切而言，影像由自眼睛之一固定距離處之一顯示器展示，使得眼睛在一單一調節狀態中觀察所有影像資訊。此一配置藉由在無需調節狀態中之一匹配變化之情況下引起聚散狀態中之變化而抵抗「調節-聚散反射作用」。此失配據信引起觀察者不適。在調節與聚散之間提供一較佳匹配之顯示系統可形成三維影像之較實境及舒服模擬。

不受理論限制，據信人類眼睛通常可解譯一有限數目個深度平面以提供深度感覺。因此，可藉由提供至眼睛對應於此等有限數目個深度平面之各者之一影像之不同表示而達成所感知之深度之一高度可信模擬。在一些實施例中，不同表示可提供聚散度之線索及調節之匹配線索兩者，藉此提供生理上正確之調節-聚散匹配。

繼續參考圖4B，圖中繪示對應於自眼睛210、220之空間中之一不同距離之兩個深度平面240。對於一給定深度平面240，聚散度線索可藉由顯示各眼睛210、220之適當不同觀點之影像而提供。另外，對於一給定深度平面240，形成提供至各眼睛210、220之影像之光可具有對應於由該深度平面240之距離處之一點產生之一光場之一波前發散。

在所繪示之實施例中，含有點221之深度平面240沿z軸之距離係1 m。如本文所使用，沿z軸之距離或深度可使用位於使用者之眼睛之出射瞳孔處之一零點量測。因此，位於1 m之一深度處之一深度平面240對應

於該等眼睛之光學軸上之遠離使用者之眼睛之出射瞳孔1 m之一距離。作為一近似，沿z軸之深度或距離可自使用者之眼睛前面(例如自一波導之表面)之顯示器量測，加上裝置與使用者之眼睛之出射瞳孔之間的距離之一值。該值可稱為適眼距且對應於使用者之眼睛之出射瞳孔與在眼睛前面由使用者佩戴之顯示器之間的距離。實際上，適眼距之值可為大體上用於所有觀察者之一正規化值。例如，適眼距可認定為20 mm且位於1 m之一深度處之一深度平面可位於顯示器前面980 mm之一距離處。

現參考圖4C至圖4D，圖中分別繪示匹配調節-聚散距離及失配調節-聚散距離之實例。如圖4C中所繪示，顯示系統可提供一虛擬物件之影像至各眼睛210、220。影像可引起眼睛210、220採取一聚散狀態，其中眼睛收斂於一深度平面240上之一點15上。另外，影像可由具有對應於該深度平面240處之真實物件之一波前曲率之一光形成。因此，眼睛210、220採取一調節狀態，其中影像聚焦於該等眼睛之視網膜上。因此，使用者可將虛擬物件感知為位於深度平面240上之點15處。

應瞭解眼睛210、220之調節狀態及聚散狀態之各者與z軸上之一特定距離相關聯。例如，位於自眼睛210、220一特定距離處之一物件基於該物件之距離而引起該等眼睛採取特定條件狀態。與一特定調節狀態相關聯之距離可指稱調節距離 A_d 。類似地，存在與特定聚散狀態中之眼睛或相對於彼此之位置相關聯之特定聚散距離 V_d 。在調節距離及聚散距離匹配之位置處，調節與聚散之間的關係可謂生理上正確。此被視為一觀察者之最舒服情境。

然而，在立體顯示器中，調節距離及聚散距離可不總是匹配。例如，如圖4D中所繪示，顯示至眼睛210、220之影像可顯示為具有對應於

深度平面240之波前發散，且眼睛210、220可採取一特定調節狀態，其中該深度平面240上之點15a、15b聚焦。然而，顯示至眼睛210、220之影像可提供引起眼睛210、220收斂於不位於深度平面240上之一點15上之聚散度之線索。因此，在一些實施例中，調節距離對應於自眼睛210、220之出射瞳孔至深度平面240之距離，而聚散距離對應於自眼睛210、220之出射瞳孔至點15之較大距離。調節距離不同於聚散距離。因此，存在一調節-聚散失配。此一失配被視為非所要且可引起使用者之不適。應瞭解該失配對應於距離(例如 $V_d - A_d$)且可使用屈光度特徵化。

不受理論限制，據信使用者仍可將高達0.25屈光度、高達0.33屈光度及高達約0.5屈光度之調節-聚散失配感知為生理上正確，而失配自身不會引起顯著不適。在一些實施例中，本文所揭示之顯示系統(例如圖6之顯示系統250)經組態以使用具有波前發散之光及具有提供0.5屈光度或更小之一調節-聚散失配之雙目線索之影像呈現影像至觀察者。在一些其他實施例中，顯示系統經組態以使用具有波前發散之光及具有提供0.33屈光度或更小之一調節-聚散失配之雙目線索之影像呈現影像至觀察者。在其他實施例中，顯示系統經組態以使用具有波前發散之光及具有提供0.25屈光度或更小(包含約0.1屈光度或更小)之一調節-聚散失配之雙目線索之影像呈現影像至觀察者。

在一些實施例中，應瞭解除眼睛210、220之出射瞳孔之外之一參考點可用於判定距離，只要相同參考點用於調節距離及聚散距離。例如，距離可自角膜至深度平面、自視網膜至深度平面、自目鏡(例如顯示裝置之一波導)至深度平面量測等等。

圖5繪示用於藉由修改波前發散來模擬三維影像之一方法之態樣。顯

示系統包含經組態以接收使用影像資訊編碼之光線770及將該光線輸出至使用者之眼睛210之一波導270。波導270可輸出具有對應於由一所要深度平面240上之一點產生之一光場之波前發散的一界定量之波前發散之光線650。在一些實施例中，針對呈現於該深度平面上之所有物件提供相同量之波前發散。另外，將繪示使用者之另一眼睛可具有來自一類似波導之影像資訊。

在一些實施例中，一單一波導可經組態以輸出具有對應於一單一或有限數目個深度平面之一組波前發散量之光及/或該波導可經組態以輸出一有限範圍之波長之光。因此，在一些實施例中，複數個波導或波導之堆疊可用以提供用於不同深度平面之不同量之波前發散及/或輸出不同範圍之波長之光。

圖6繪示用於將影像資訊輸出至一使用者之一波導堆疊之一實例。一顯示系統250包含波導之一堆疊，或可用以使用複數個波導270、280、290、300、310提供三維感覺至眼睛/大腦之堆疊波導總成260。應瞭解在一些實施例中顯示系統250可被視為一光場顯示器。另外，波導總成260亦可指稱一目鏡。

在一些實施例中，顯示系統250可經組態以提供實質上連續聚散度之線索及多個離散調節之線索。聚散度之線索可藉由顯示不同影像至使用者之眼睛之各者而提供，且調節之線索可藉由輸出形成具有離散波前發散量之影像之光線而提供。在一些實施例中，波前發散之各離散層級對應於一特定深度平面且可由波導270、280、290、300、310之一特定者提供。

繼續參考圖6，波導總成260亦可包含介於波導之間的複數個特徵320、330、340、350。在一些實施例中，特徵320、330、340、350可為

一或多個透鏡。波導270、280、290、300、310及/或複數個透鏡320、330、340、350可經組態以使用各種層級之波前曲率或光線發散將影像資訊發送至眼睛。各波導層級可與一特定深度平面相關聯且可經組態以輸出對應於該深度平面之影像資訊。影像注入裝置360、370、380、390、400可作為波導之光線之一源且可用以將影像資訊注入波導270、280、290、300、310中，波導270、280、290、300、310之各者可經組態(如本文所描述)以使入射光線跨越各自波導分佈以朝向眼睛210輸出。光線出射影像注入裝置360、370、380、390、400之一輸出表面410、420、430、440、450且注入波導270、280、290、300、310之一對應輸入表面460、470、480、490、500。在一些實施例中，輸入表面460、470、480、490、500之各者可為一對應波導之一邊緣，或可為對應波導之一主要表面之部分(即，直接面向世界510或觀察者之眼睛210之波導表面之一者)。在一些實施例中，一單一光束(例如一準直光束)可注入各波導中以輸出對應於與一特定波導相關聯之深度平面之定向為依特定角度(及發散量)朝向眼睛210之一整場複製準直光束。在一些實施例中，影像注入裝置360、370、380、390、400之一單一者可與複數個(例如三個)波導270、280、290、300、310相關聯且將光線注入波導270、280、290、300、310中。

在一些實施例中，影像注入裝置360、370、380、390、400離散顯示各產生分別用於注入一對應波導270、280、290、300、310之影像資訊。在一些其他實施例中，影像注入裝置360、370、380、390、400係可(例如)經由一或多個光學導管(諸如光纖纜線)以管道輸送影像資訊至影像注入裝置360、370、380、390、400之各者之一單一或多工顯示器之輸出端。應瞭解由影像注入裝置360、370、380、390、400提供之影像資訊可

包含不同波長或色彩(例如不同組分色彩，如本文所討論)之光線。

在一些實施例中，注入波導270、280、290、300、310中之光線由包括一光線模組530 (其可包含一光發射器(諸如一發光二極體(LED))之一光投射器系統520提供。來自光線模組530之光線可由一光調變器540 (例如一空間光調變器)經由一光束分離器550定向及修改。光調變器540可經組態以改變注入波導270、280、290、300、310中之光線之所感知之強度以使用影像資訊對光線編碼。空間光調變器之實例包含液晶顯示器(LCD)(包含一液晶覆矽(LCOS)顯示器)。應瞭解影像注入裝置360、370、380、390、400經示意性地繪示且在一些實施例中，此等影像注入裝置可代表經組態以將光線輸出至波導270、280、290、300、310之相關聯之波導之一共同投射系統中之不同光線路徑及位置。在一些實施例中，波導總成260之波導可作為理想透鏡同時將注入波導中之光線中繼至使用者之眼睛。在此概念中，物件可為空間光調變器540且影像可為深度平面上之影像。

在一些實施例中，顯示系統250可為包括經組態以依各種圖案(例如光柵掃描、螺旋掃描、利薩如(Lissajous)圖案等等)將光線投射至一或多個波導270、280、290、300、310且最終投射至觀察者之眼睛210之一或多個掃描纖維之一掃描纖維顯示器。在一些實施例中，所繪示之影像注入裝置360、370、380、390、400可示意性地代表經組態以將光線投射至一或複數個波導270、280、290、300、310中之一單一掃描纖維或一束掃描纖維。在一些其他實施例中，所繪示之影像注入裝置360、370、380、390、400可示意性地代表複數個掃描纖維或複數個掃描纖維束，其等之各者經組態以將光線注入波導270、280、290、300、310之一相關聯之波

導中。應瞭解一或多個光纖可經組態以將光線自光線模組530傳輸至一或多個波導270、280、290、300、310。應瞭解一或多個居間光學結構可提供於該(等)掃描纖維與一或多個波導270、280、290、300、310之間以(例如)重新定向出射掃描纖維至一或多個波導270、280、290、300、310中之光線。

一控制器560控制堆疊波導總成260之一或多者之操作(包含影像注入裝置360、370、380、390、400、光源530及光調變器540之操作)。在一些實施例中，控制器560係局部資料處理模組140之部分。控制器560包含根據(例如)本文所揭示之各種方案之任何者調節時序及提供影像資訊至波導270、280、290、300、310之程式(例如一非暫時媒體中之指令)。在一些實施例中，控制器可為一單一積體裝置或由有線或無線通道連接之一分佈式系統。在一些實施例中，控制器560可為處理模組140或150 (圖9D)之部分。

繼續參考圖6，波導270、280、290、300、310可經組態以藉由全內反射(TIR)在各自波導內傳播光線。波導270、280、290、300、310可各為平面或具有另一形狀(例如彎曲)，其具有主要頂面及底面及延伸於該等主要頂面與底面之間。在所繪示之組態中，波導270、280、290、300、310可各包含經組態以藉由重新定向在各自波導內傳播之波導外之光線而將光線提出一波導外以輸出影像資訊至眼睛210之外耦合光學元件570、580、590、600、610。所提取之光線亦可指稱外耦合之光線且外耦合光學元件亦可指稱光線提取光學元件。所提取之一束光線可由位於在波導中傳播之光線入射一光線提取光學元件之位置處之波導輸出。外耦合光學元件570、580、590、600、610可為(例如)光柵(包含繞射光學特徵)，如本

文所進一步討論。儘管所繪示安置於波導270、280、290、300、310之主要底面處，但為了易於描述及繪製清楚，在一些實施例中，外耦合光學元件570、580、590、600、610可安置於頂部主要表面及/或底部主要表面處及/或可直接安置於波導270、280、290、300、310之體積中，如本文所進一步討論。在一些實施例中，外耦合光學元件570、580、590、600、610可形成於附接至一透明基板以形成波導270、280、290、300、310之一層材料中。在一些其他實施例中，波導270、280、290、300、310可為一件單塊材料且外耦合光學元件570、580、590、600、610可形成於該件材料之一表面上及/或內部中。

繼續參考圖6 (如本文所討論)，各波導270、280、290、300、310經組態以輸出光線以形成對應於一特定深度平面之一影像。例如，最接近眼睛之波導270可經組態以將準直光線(其注入此波導270中)輸送至眼睛210。準直光線可為光學無窮遠處之焦平面。下一波導280可經組態以在通過第一透鏡350 (例如一負透鏡)之準直光線到達眼睛210之前發出該準直光線；此第一透鏡350可經組態以產生一稍凸起之波前曲率使得眼睛/大腦將來自下一波導280之光線解譯為來自向內朝向自光學無窮遠處之眼睛210更接近之一第一焦平面。類似地，第三波導290使其輸出光線在到達眼睛210之前通過第一透鏡350及第二透鏡340；第一透鏡350及第二透鏡340之組合光功率可經組態以產生波前曲率之另一增量使得眼睛/大腦將來自第三波導290之光線解譯為來自比來自下一波導280之光線接近向內朝向自光學無窮遠處之人之一第二焦平面。

其他波導層300、310及透鏡330、320類似地組態，其中堆疊中之最高波導310透過波導310與最接近焦平面之一集合焦度代表之眼睛之間的

所有透鏡將其輸出發送至人。為在觀察/解譯來自堆疊波導總成260之另一側上之世界510之光線時補償透鏡320、330、340、350之堆疊，一補償透鏡層620可安置於堆疊之頂部以補償下方透鏡堆疊320、330、340、350之集合電力。此一組態提供與可用波導/透鏡對一樣多的所感知之焦平面。波導之外耦合光學元件及透鏡之聚焦態樣兩者可係靜態(即非動態或電主動)。在一些替代實施例中，任一者或兩者可使用電主動特徵而係動態的。

在一些實施例中，波導270、280、290、300、310之兩者或兩者以上可具有相同相關聯之深度平面。例如，多個波導270、280、290、300、310可經組態以將影像集輸出至相同深度平面，或波導270、280、290、300、310之多個子集可經組態以將影像集輸出至相同複數個深度平面，其中一集用於各深度平面。此可提供用於形成一鋪磚影像以提供該等深度平面處之一擴展視野之優點。

繼續參考圖6，外耦合光學元件570、580、590、600、610可經組態以重新定向其各自波導外之光線且針對與波導相關聯之一特定深度平面輸出具有適當發散或準直量之此光線。因此，具有不同相關聯之深度平面之波導可具有外耦合光學元件570、580、590、600、610之不同組態，其等取決於相關聯之深度平面而輸出具有一不同發散量之光線。在一些實施例中，光線提取光學元件570、580、590、600、610可為體積或表面特徵，其等可經組態以依特定角度輸出光線。例如，光線提取光學元件570、580、590、600、610可為體積全息照相、表面全息照相及/或繞射光柵。在一些實施例中，特徵320、330、340、350可不為透鏡；確切而言，其等可僅為間隔件(例如包覆層及/或用於形成氣隙之層)。

在一些實施例中，外耦合光學元件570、580、590、600、610係形成一繞射圖案之繞射特徵或「繞射光學元件」(本文中亦指稱一「DOE」)。較佳地，DOE具有一足夠低繞射效率使得僅該束光線之一部分伴隨DOE之各焦點朝向眼睛210偏轉，而剩餘部分經由TIR繼續移動通過一波導。因此，攜帶影像資訊之光線分成在多個位置處出射波導之若干相關出射光束且結果係針對在一波導內反彈之此特定準直光束而朝向眼睛210出射之一非常均勻圖案。

在一些實施例中，一或多個DOE可在其中DOE主動繞射之「接通」狀態與其中DOE不顯著繞射之「斷開」狀態之間切換。例如，一可切換DOE可包括散佈液晶之一層聚合物，其中微滴包括一基底介質中之一繞射圖案，且微滴之折射率可經切換以實質上匹配基質材料之折射率(在該情況中圖案不明顯繞射入射光線)或微滴可切換至不匹配基底介質之指數之一指數(在該情況中圖案主動繞射入射光線)。

在一些實施例中，可提供一攝影機總成630 (例如一數位攝影機，包含可見光攝影機及紅外光攝影機)以捕獲眼睛210及/或眼睛210周圍之組織之影像以(例如)阻止使用者輸入及/或監視使用者之生理狀態。如本文所使用，一攝影機可為任何影像捕獲裝置。在一些實施例中，攝影機總成630可包含一影像捕獲裝置及一光源以將光線(例如紅外光)投射至眼睛，其可接著由眼睛反射且由影像捕獲裝置偵測。在一些實施例中，攝影機總成630可附接至框架80 (圖9D)且可處理模組140及/或150 (其可處理來自攝影機總成630之影像資訊)電通信。在一些實施例中，一攝影機總成630可用於各眼睛以分別監視各眼睛。

現參考圖7，圖中展示由一波導輸出之出射光束之一實例。繪示一波

導，但應瞭解波導總成260 (圖6)中之其他波導可類似地運作，其中波導總成260包含多個波導。光線640在波導270之輸入表面460注入波導270中且在波導270內由TIR傳播。在其中光線640在DOE 570上衝擊之點處，光線之一部分出射波導作為出射光束650。出射光束650繪示為實質上平行但如本文所討論，取決於與波導270相關聯之深度平面，其等亦可經重新定向以依一角度傳播至眼睛210 (例如形成發散出射光束)。應瞭解實質上平行之出射光束可指示具有外耦合光學元件之一波導，外耦合光學元件外耦合光線以形成似乎依自眼睛210之一大距離(例如光學無窮遠)設定於一深度平面上之影像。其他波導或其他外耦合光學元件組可輸出更發散之一出射光束圖案，其將需要眼睛210適應一較近距離以使圖案聚焦於視網膜上且將由大腦解譯為比光學無窮遠靠近眼睛210之一距離之光線。

在一些實施例中，一全色影像可藉由重疊組分色彩(例如三個或三個以上組分色彩)之各者中之影像形成於各深度平面處。圖8繪示其中各深度平面包含使用多個不同組分色彩形成之影像之一堆疊波導總成之一實例。所繪示之實施例展示深度平面240a至240f，儘管亦設想更多或更少深度。各深度平面可具有與深度平面相關聯之三個或三個以上組分色彩影像，包含：一第一色彩G之一第一影像；一第二色彩R之一第二影像；及一第三色彩B之一第三影像。不同深度平面在圖中由依循字母G、R及B之不同數目個屈光度(dpt)指示。僅作為實例，依循此等字母之各者之數目指示屈光度(1/m)，或深度平面自一觀察者之距離反比，且圖中之各盒代表一個別組分色彩影像。在一些實施例中，為解釋眼睛中之不同波長之光線之聚焦之差異，不同組分色彩之深度平面之精確放置可改變。例如，一給定深度平面之不同組分色彩影像可放置於對應於自使用者不同距離之深度平面

上。此一配置可增加視覺敏銳度及使用者舒適感及/或可減少色差。

在一些實施例中，各組分色彩之光線可由一單一專用波導輸出且因此，各深度平面可具有與其相關聯之多個波導。在此等實施例中，包含字母G、R或B之圖中之各盒可理解為表示一個別波導，且每個深度平面可提供三個波導，其中每個深度平面提供三個組分色彩影像。儘管與各深度平面相關聯之波導為易於描述而在此圖式中展示為彼此毗鄰，但應瞭解在一實體裝置中，波導可全部配置成一堆疊，其中每個層級一個波導。在一些其他實施例中，多個組分色彩可由相同波導輸出使得(例如)每個深度平面僅提供一單一波導。

繼續參考圖8，在一些實施例中，G係綠色，R係紅色且B係藍色。在一些其他實施例中，與其他波長之光線相關聯之其他色彩(包含洋紅色及青藍色)可額外使用或可替代紅、綠或藍之一或多者。

應瞭解參考本發明之一給定色彩之光線將理解為涵蓋由一觀察者感知為該給定色彩之光線之波長之一範圍內之一或多個波長之光線。例如，紅光可包含在約620 nm至約780 nm之範圍內之一或多個波長之光線，綠光可包含在約492 nm至約577 nm之範圍內之一或多個波長之光線且藍光可包含在約435 nm至約493 nm之範圍內之一或多個波長之光線。

在一些實施例中，光源530 (圖6)可經組態以發射超出觀察者之視覺感受之一或多個波長(例如紅外波長及/或紫外波長)之光線。另外，顯示器250之波導之內耦合、外耦合及其他光線重新定向結構可經組態以朝向使用者之眼睛210導引及發射此光線超出顯示器(例如)用於成像及/或使用者模擬應用。

現參考圖9A，在一些實施例中，入射於一波導上之光線可需要重新

定向為將該光線內耦合至該波導中。一內耦合光學元件可用以將該光線重新定向及內耦合至其對於波導中。圖9A繪示各包含一內耦合光學元件之複數個或一組600堆疊波導之一實例之一橫截面側視圖。波導可各經組態以輸出一或多不同波長或一或多個不同範圍之波長之光線。應瞭解堆疊660可對應於堆疊260 (圖6)且堆疊660之所繪示之波導可對應於該複數個波導270、280、290、300、310之部分，來自影像注入裝置360、370、380、390、400之一或多者之光線自需要光線重新定向以內耦合之一部分注入波導中之外。

堆疊波導之所繪示之組660包含波導670、680及690。各波導包含一相關聯之內耦合光學元件(其亦可指稱波導上之一光線輸入區域)，其中(例如)內耦合光學元件700安置於波導670之一主要表面(例如一上主要表面)上，內耦合光學元件710安置於波導680之一主要表面(例如一上主要表面)上且內耦合光學元件720安置於波導690之一主要表面(例如一上主要表面)上。在一些實施例中，內耦合光學元件700、710、720之一或多者可安置於各自波導670、680、690之底部主要表面上(尤其其中該一或多個內耦合光學元件係反射、偏轉光學元件)。如所繪示，內耦合光學元件700、710、720可安置於其各自波導670、680、690之上主要表面上(或下一波導之頂部)，尤其其中該等內耦合光學元件係透射、偏轉光學元件。在一些實施例中，內耦合光學元件700、710、720可安置於各自波導670、680、690之本體中。在一些實施例中，如本文所討論，內耦合光學元件700、710、720係波長選擇的，使得其等選擇性地重新定向一或多個波長之光線，同時傳輸其他波長之光線。儘管繪示於其各自波導670、680、690之一側或角上，但應瞭解在一些實施例中內耦合光學元件700、

710、720可安置於其各自波導670、680、690之其他區域中。

如所繪示，內耦合光學元件700、710、720可彼此橫向偏移。在一些實施例中，各內耦合光學元件可經偏移使得其接收光線而不會使光線通過另一內耦合光學元件。例如，各內耦合光學元件700、710、720可經組態以自如圖6中所展示之一不同影像注入裝置360、370、380、390、400接收光線，且可自其他內耦合光學元件700、710、720分離(例如橫向隔開)使得其實質上不自內耦合光學元件700、710、720之其他內耦合光學元件接收光線。

各波導亦包含相關聯之光線分佈元件，其中(例如)光線分佈元件730安置於波導670之一主要表面(例如一頂部主要表面)上，光線分佈元件740安置於波導680之一主要表面(例如一頂部主要表面)上且光線分佈元件750安置於波導690之一主要表面(例如一頂部主要表面)上。在一些其他實施例中，光線分佈元件730、740、750可分別安置於相關聯之波導670、680、690之一底部主要表面上。在一些其他實施例中，光線分佈元件730、740、750可分別安置於相關聯之波導670、680、690之頂部及底部主要表面兩者上；或光線分佈元件730、740、750可分別安置於不同相關聯之波導670、680、690之頂部主要表面及底部主要表面之不同表面上。

波導670、680、690可由(例如)氣體、液體及/或固體層之材料隔開及分離。例如，如所繪示，層760a可分離波導670及680；且層760b可分離波導680及690。在一些實施例中，層760a及760b由低折射率材料(即具有比形成波導670、680、690之緊鄰波導之材料低之一折射率之材料)形成。較佳地，形成層760a、760b之材料之折射率係比形成波導670、680、690之材料之折射率大0.05或小0.10。有利地，低折射率層760a、

760b可作為促進光線透過波導670、680、690之全內反射(TIR)之包覆層(例如各波導之頂部主要表面與底部主要表面之間的TIR)。在一些實施例中，層760a、760b由空氣形成。儘管未繪示，應瞭解所繪示之波導組660之頂部及底部可包含緊鄰包覆層。

較佳地，為易於製造及其他考量，形成波導670、680、690之材料係類似或相同的，且形成760a、760b之材料係類似或相同的。在一些實施例中，形成波導670、680、690之材料在一或多波導之間可係不同的，及/或形成760a、760b之材料可係不同的，儘管仍保持上述各種折射關係。

繼續參考圖9A，光線770、780、790入射於波導組660上。應瞭解光線770、780、790可由一或多個影像注入裝置360、370、380、390、400(圖6)注入波導670、680、690中。

在一些實施例中，光線770、780、790具有不同性質(例如不同波長或不同範圍之波長)，其等可對應於不同色彩。內耦合光學元件700、710、720各偏轉入射光線使得光線由TIR透過波導670、680、690之一各自波導。在一些實施例中，內耦合光學元件700、710、720各選擇性地偏轉一或多個特定波長之光線，同時將其他波長傳輸至一下伏波導及相關聯之內耦合光學元件。

例如，內耦合光學元件700可經組態以偏轉光線770，其具有一第一波長或第一範圍之波長，同時傳輸光線780及790，其等分別具有第二及第三波長或第二及第三範圍之波長。所傳輸之光線780入射於內耦合光學元件710上且由內耦合光學元件710偏轉，其經組態以偏轉一第二波長或第二範圍之波長之光線。光線790由內耦合光學元件720偏轉，其經組態以選擇性地偏轉第三波長或第三範圍之波長之光線。

繼續參考圖9A，偏轉光線770、780、790經偏轉使得其等透過一對應波導670、680、690傳播；即，各波導之內耦合光學元件700、710、720將光線偏轉至該對應波導670、680、690中以將光線內耦合至該對應波導中。光線770、780、790依引起光線經由TIR透過各自波導670、680、690傳播之角度偏轉。光線770、780、790藉由TIR透過各自波導670、680、690傳播直至入射於波導之對應光線分佈元件730、740、750上。

現參考圖9B，圖中繪示圖9A之複數個堆疊波導之一實例之一透視圖。如上所述，內耦合光線770、780、790分別由內耦合光學元件700、710、720偏轉且接著藉由TIR在波導670、680、690內傳播。接著，光線770、780、790分別入射於光線分佈元件730、740、750上。光線分佈元件730、740、750偏轉光線770、780、790使得其等分別朝向外耦合光學元件800、810、820傳播。

在一些實施例中，光線分佈元件730、740、750係正交光瞳擴張器(OPE)。在一些實施例中，OPE將光線偏轉或分佈至外耦合光學元件800、810、820且在一些實施例中，亦可在此光線傳播至外耦合光學元件時增加其光束或光點大小。在一些實施例中，光線分佈元件730、740、750可省略且內耦合光學元件700、710、720可經組態以將光線直接偏轉至外耦合光學元件800、810、820。例如，參考圖9A，光線分佈元件730、740、750可分別被外耦合光學元件800、810、820替換。在一些實施例中，外耦合光學元件800、810、820係在一觀察者之眼睛210 (圖7)中導引光之出射光瞳(EP)或出射光瞳擴張器(EPE)。應瞭解OPE可經組態以增加至少一軸中之眼睛盒之尺寸且EPE可增加跨越(例如正交於) OPE之軸

之一軸中之眼睛盒。例如，各OPE可經組態以將撞擊OPE之光線重新定向至相同波導之一EPE，同時允許光線之剩餘部分繼續沿波導傳播。在再次入射於OPE上之後，剩餘光線之另一部分重新定向至EPE，且該部分之剩餘部分繼續進一步沿波導傳播等等。類似地，在撞擊EPE之後，入射光線之一部分即朝向使用者導引出波導，且該光線之一剩餘部分繼續透過波導傳播直至其再次撞擊EP，此時該撞擊光線之另一部分被導引出波導等等。因此，每次該光線之一部分由一OPE或EPE重新定向內耦合光線之一單一光束可「複製」，藉此形成光線之複製光束之一場，如圖6中所展示。在一些實施例中，OPE及/或EPE可經組態以修改光束之一大小。

相應地，參考圖9A及圖9B，在一些實施例中，波導組660包含針對各組分色彩之波導670、680、690；內耦合光學元件700、710、720；光線分佈元件(例如OPE) 730、740、750；及外耦合光學元件(例如EP) 800、810、820。波導670、680、690可堆疊，其中一氣隙/包覆層介於各波導之間。內耦合光學元件700、710、720將入射光線重新定向或偏轉(其中不同內耦合光學元件接收不同波長之光線)至其波導中。接著，光線依一角度傳播，其將導致各自波導670、680、690內之TIR。在所展示之實例中，光線770 (例如藍光)由第一內耦合光學元件700偏轉，且接著繼續沿波導反射，從而依先前描述之一方式與光線分佈元件(例如OPE) 730互動且接著與外耦合光學元件(例如EP) 800互動。光線780及790 (例如分別為綠光及紅光)將通過波導670，其中光線780撞擊於內耦合光學元件710上且由內耦合光學元件710偏轉。接著，光線780經由TIR沿波導680反射，行進至其光線分佈元件(例如OPE) 740且接著行進至外耦合光學元件(例如EP) 810。最終，光線790 (例如紅光)通過波導690以撞擊於波導690

之光線內耦合光學元件720上。光線內耦合光學元件720偏轉光線790使得光線藉由TIR傳播至光線分佈元件(例如OPE) 750，且接著藉由TIR傳播至外耦合光學元件(例如EP) 820。接著，外耦合光學元件(例如EP) 820最終將光線790外耦合至觀察者，其亦自其他波導670、680接收外耦合之光線。

圖9C繪示圖9A及圖9B之複數個堆疊波導之一實例之一俯視平面圖。如所繪示，波導670、680、690連同各波導之相關聯之光線分佈元件730、740、750及相關聯之外耦合光學元件800、810、820可垂直對準。然而，如本文所討論，內耦合光學元件700、710、720不垂直對準；確切而言，內耦合光學元件較佳地係非重疊(例如如俯視圖中所見橫向隔開)。如本文所進一步討論，此非重疊空間配置促進光線在一一對一基礎上自不用資源注入不同波導中，藉此允許一特定光源耦合至一特定波導。在一些實施例中，包含非重疊空間分離之內耦合光學元件之配置可指稱一移位光瞳系統，且此等配置內之內耦合光學元件可對應於子光瞳。

圖9D繪示本文所揭示之各種波導及相關系統可整合至其中之可佩戴顯示系統60之一實例。在一些實施例中，顯示系統60係圖6之系統250，其中圖6示意性地更詳細展示該系統60之一些部分。例如，圖6之波導總成260可為顯示器70之部分。

繼續參考圖9D，顯示系統60包含一顯示器70，且各種機械模組及電子模組及系統支持該顯示器70之運作。顯示器70可耦合至一框架80，其可由一顯示系統使用者或觀察者90佩戴且經組態以將顯示器70定位於使用者90之眼睛前面。在一些實施例中顯示器70可被視為目鏡。在一些實施例中，一揚聲器100耦合至框架80且經組態以定位為毗鄰使用者90之耳

道(在一些實施例中，另一揚聲器(圖中未展示)可視情況定位為毗鄰使用者之另一耳道以提供立體聲/可塑形聲音控制)。顯示系統60亦可包含一或多個麥克風110或其他裝置以偵測聲音。在一些實施例中，麥克風經組態以允許使用者提供輸入或命令至系統60 (例如語音菜單命令之選擇、自然語言問題等等)及/或可允許與其他人(例如與類似顯示系統之其他使用者)通信。麥克風可進一步組態為一周邊感測器以收集音訊資料(例如來自使用者及/或環境之聲音)。在一些實施例中，顯示系統亦可包含一周邊感測器120，其可自框架80分離且附接至使用者90之本體(例如位於使用者90之頭部、軀幹、一肢體等等上)。在一些實施例中周邊感測器120可經組態以獲取特徵化使用者90之一生理狀態之資料。例如，感測器120a可為一電極。

繼續參考圖9D，顯示器70可操作地由通信鏈路130 (諸如由一有線引線或無線連接性)耦合至可安裝成各種組態(例如固定地附接至框架80、固定地附接至由使用者佩戴之一頭盔或帽子、嵌入耳機中或以其他方式可移除地附接至使用者90 (例如以一背包式樣組態、以一皮帶聯結器式樣組態))之一局部資料處理模組140。類似地，感測器120a可操作地由通信鏈路120 (諸如由一有線引線或無線連接性)耦合至局部處理器及資料模組140。局部處理及資料模組140可包括一硬體處理器及數位記憶體(諸如非揮發性記憶體(例如快閃記憶體或硬碟驅動器))，硬體處理器及數位記憶體兩者可用以助於資料之處理、快取及儲存。局部處理器及資料模組140可視情況包含一或多個中央處理單元(CPU)、圖形處理單元(GPU)、專用處理硬體等等。資料可包含a)自感測器(其可(例如)操作以耦合至框架80或以其他方式附接至使用者90)(諸如影像捕獲裝置(諸如攝影機)、麥克風、

慣性量測單元、加速計、指南針、GPS單元、無線電裝置、陀螺儀及/或本文所揭示之其他感測器捕獲之資料；及/或b)使用遠端處理模組150及/或遠端資料儲存庫160獲取及/或處理之資料(包含有關虛擬內容之資料)，可能用於在此處理或擷取之後傳遞至顯示器70。局部處理及資料模組140可操作以由通信鏈路170、180 (諸如經由一有線或無線通信鏈路)耦合至遠端處理模組150及遠端資料儲存庫160使得此等遠端模組150、160操作以彼此耦合且可用作為至局部處理及資料模組140之資源。在一些實施例中，局部處理及資料模組140可包含影像捕獲裝置、麥克風、慣性量測單元、加速計、指南針、GPS單元、無線電裝置及/或陀螺儀之一或多者。在一些其他實施例中，此等感測器之一或多者可附接至框架80，或可為藉由有線或無線通信路徑與局部處理及資料模組140通信之獨立結構。

繼續參考圖9D，在一些實施例中，遠端處理模組150可包括經組態以分析及處理資料及/或影像資訊之一或多處理器，(例如)包含一或多個中央處理單元(CPU)、圖形處理單元(GPU)、專用處理硬體等等。在一些實施例中，遠端資料儲存庫160可包括一數位資料儲存設施，其通過網際網路或呈一「雲端」資源組態之其他網路組態可用。在一些實施例中，遠端資料儲存庫160可包含一或多個遠端伺服器，其等提供資訊(例如用於產生增強實境內容之資訊)至局部處理及資料模組140及/或遠端處理模組150。在一些實施例中，所有資料儲存於局部處理及資料模組中且在局部處理及資料模組中執行所有計算，從而允許自一遠端模組之完全自主使用。包含CPU、GPU等等之一外部系統(例如一或多個處理器、一或多個電腦之一系統)可視情況執行處理(例如產生影像資訊、處理資料)之至少一部分且(例如)經由無線或有線連接提供資訊至模組140、150、160且自模組

140、150、160接收資訊。

超穎介面

圖10A及圖10B分別繪示根據一些實施例之一超穎介面2002之橫截面側視圖及俯視圖之實例。一基板2000具有包括複數個超穎介面單元晶胞2010之一超穎介面2002安置於其上之一表面2000a。單元晶胞各包含由一光學透射材料形成之複數個奈米樑2020a、2020b。奈米樑2020a、2020b可為脊(或奈米線)，其等橫向延長至頁中及頁外且界定相鄰奈米樑之間的溝渠。在一些實施例中，奈米樑2020a、2020b可係線性的。較佳地，奈米樑2020a、2020b沿其長度連續，其可具有用於提供一高繞射效率之優點。在一些其他實施例中，奈米樑2020a、2020b可沿其長度不連續(例如奈米樑2020a、2020b可各沿一線延伸)，其中奈米樑2020a、2020b中之間隙沿該等線。

單元晶胞2010可依規則間隔重複跨越表面2000a，且可彼此平行使得奈米樑2020a、2020b亦彼此平行。單元晶胞2010可具有一寬度P，其係緊鄰單元晶胞2010之相同點之間的距離。在一些實施例中，P可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至500 nm或300 nm至500 nm)。應瞭解P可被視為單元晶胞2010之節距且可實質上跨越由該等單元晶胞形成之一光柵恆定。在一些其他實施例中，P可跨越表面2000a改變。

較佳地，形成奈米樑2020a、2020b之材料之折射率比基板2000之折射率高。在一些實施例中，基板2000可為一波導，且可對應於波導270、280、290、300、310 (圖6)及/或波導670、680、690 (圖9A)。在此等應用中，基板較佳地具有一相對高折射率(例如，1.5、1.6、1.7、1.8、1.9或更高)，其可提供用於增加藉由自該基板2000輸出光線而形成一影像之

一顯示器之視野之優點。用於形成基板2000之材料之實例包含玻璃(例如摻雜玻璃)、鋰酸鋁、塑膠、一聚合物、藍寶石或其他光學透射材料。在一些實施例中，形成奈米樑2020a、2020b之材料之折射率可為2.0或更高、2.5或更高、3.0或更高、3.3或更高或3.5或更高。用於形成奈米樑2020a、2020b之材料之實例包含含有矽之材料(例如非晶矽或多晶矽及氮化矽)、氧化物及磷化鎵。氧化物之實例包含氧化鈦、氧化鋅及氧化鋅。較佳地，形成奈米樑2020a、2020b之材料係相同的，其具有用於簡化超穎介面2002之製造之優點。

繼續參考圖10A及圖10B，奈米樑2020b之一者具有比所繪示之奈米樑2020a之另一者之寬度 NW_1 大之一寬度 NW_2 。在一些實施例中，寬度 NW_1 及 NW_2 各在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至300 nm)，其中如上所述寬度 NW_1 比 NW_2 大。如所繪示，奈米樑2020a、2020b可分離達10 nm至1 μm 之範圍內寬(包含10 nm至300 nm寬)之一間隙。亦如所繪示，奈米樑2020a、2020b具有一高度 h_{nw} ，其可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至450 nm)。較佳地，奈米樑2020a、2020b之高度係實質上相等。

如本文所揭示，單元晶胞2010及奈米樑2020a、2020b之特徵之各種尺寸可取決於用以形成超穎介面2002之材料之性質及周圍結構(諸如基板2000)之性質。在一些實施例中，奈米樑2020a、2020b之高度 h_{nw} 可取決於用於該等奈米樑之材料之折射率而改變。在一些實施例中，奈米樑之高度可為10 nm至450 nm，在材料之一折射率係大於3.3之處；及10 nm至1 μm ，在折射率係3.3或更小之處。作為另一實例，奈米樑之高度可為10 nm至450 nm，在奈米樑由矽(例如非晶矽或多晶矽)形成之處。

繼續參考圖10A及圖10B，此等圖中繪示之超穎介面2002以透射模式

作業。光線2021a、2021b在透過由奈米樑2020a、2020b形成之超穎介面2002傳播之後重新定向。如所繪示，光線2021a依一角度或相對於垂直於表面2000a入射於超穎介面2002上。較佳地，角度 α 在超穎介面2002之角度帶寬內使得光線2021a由超穎介面2002重新定向以依促進基板2000內之全內反射之角度在基板2000內傳播。如所繪示，光線2021b經重新定向使得其產生垂直於表面2000a之一角度 θ_{TIR} 。較佳地，角度 θ_{TIR} 在促進基板2000內之全內反射之角度之一範圍內。如本文所揭示，在一些實施例中，超穎介面2002可用作為一內耦合光學元件(例如作為內耦合光學元件700、710、720 (圖9A)之一或多者)以內耦合入射光線使得光線經由全內反射透過基板2000傳播。

超穎介面2002亦將偏轉自基板2000內撞擊於超穎介面2002上之光線。利用此功能，在一些實施例中，本文所揭示之超穎介面可應用以形成外耦合光學元件(諸如外耦合光學元件570、580、590、600、610 (圖6)或800、810、820 (圖9B)之一或多者替代或除在表面2000a上之不同位置處形成一內耦合光學元件之外)。在不同波導具有不同相關聯之組分色彩之位置處，應瞭解與各波導相關聯之外耦合光學元件及/或內耦合光學元件可具有特定於波導經組態以傳播之光線之波長或色彩之一幾何大小及/或週期性。因此，不同波導可具有含不同幾何大小及/或週期性之超穎介面。作為實例，用於內耦合或外耦合紅光、綠光或藍光之超穎介面可具有經組態以分別依(例如) 638 nm、520 nm及455 nm之波長重新定向或繞射光線之幾何大小及/或週期性(節距)。在一些實施例中，當波長變得更長時，奈米樑2020a、2020b及單元晶胞2010之幾何大小及週期性增加，且當波導變得更長時，奈米樑2020a、2020b之一者或兩者之高度或厚度亦

增加。

在其中超穎介面2002用作為外耦合光學元件之一些實施例中，超穎介面2002可具有引起超穎介面給予光功率至繞射光線之幾何大小及/或節距。例如，超穎介面可經組態以引起光線在發散或會聚方向上出射超穎介面。超穎介面之不同部分可具有不同節距，其引起不同光線在不同方向上偏轉使得(例如)光線發散或會聚。

在一些其他實施例中，超穎介面2002可重新定向光線使得光線遠離超穎介面2002傳播作為準直光線。例如，在準直光線撞依類似角度擊於超穎介面2002上之位置處，超穎介面2002可具有跨越整個超穎介面2002之一致幾何大小及一一致節距以依類似角度重新定向光線。

現參考圖11A至圖11B，超穎介面2002可以一「反射模式」偏轉光線，其中經重新定向之光線在入射於超穎介面上之前及之後保留在超穎介面2002之相同側上。圖11A繪示經組態以以一反射模式作用之一超穎介面之一橫截面側視圖之一實例，且圖11B繪示如在平面11B上觀察之圖11A之超穎介面之一橫截面俯視圖的一實例。如所展示，超穎介面2002之奈米樑2020a、2020b可嵌入一反射層2100中。反射層2100可由一反射材料(例如一金屬(諸如鋁、銀、金及銅))形成。較佳地，形成反射層2100之材料填充奈米樑2020a、2020b之間及單元晶胞2010之間的空間。另外，反射層2100之高度或厚度 h_r 可比奈米樑2020a、2020b之高度 h_{nw} 大。在一些實施例中，高度 h_r 可為150 nm或更厚，或1 μm 或更厚。較佳地，反射層2100係足夠厚以阻擋入射光線，其中 h_r 比層2100之光學深度大。應瞭解形成一單元晶胞2010之各種特徵之尺寸之範圍係類似於本文相對於圖10A及圖10B所討論。

現參考圖12至圖13，圖中繪示一反射模式超穎介面之另一實例。圖12繪示經組態以一反射模式作用之超穎介面2002之一橫截面側視圖之一實例，且圖13繪示如在圖13之平面13上觀察之圖12之超穎介面之一橫截面俯視圖的一實例。如所繪示，奈米樑2020a、2020b嵌入一光學透射間隔層2110中。在此等實施例中，反射層2100直接安置於與基板2000相對之間隔層2110之表面上。間隔層2110具有一高度或厚度 h_{sl} ，其比奈米樑2020a、2020b之高度大一高度 h_s ，藉此使奈米樑2020a、2020b自反射層2100間隔等於 h_s 之一距離。在一些實施例中，高度 h_s 可在5 nm至1 μ m之範圍內(包含10 nm至300 nm)。應瞭解間隔層2110之適合材料之實例可包含可藉由旋塗沈積之材料，包含聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、旋塗玻璃、電子束光阻或光阻劑及聚合物。在一些實施例中，間隔層具有1至2之一折射率。

在一些實施例中，基板2000可具有透射超穎介面及反射超穎介面兩者。圖14A繪示分別具有透射及反射超穎介面2002a、2002b之基板2000之一橫截面側視圖之一實例。在一些實施例中，透射及反射超穎介面2002a、2002b可位於基板之相對側上。圖14B繪示圖14A之超穎介面2002a之一俯視圖之一實例。圖14C繪示在圖14A之平面14C上觀察之圖14A之超穎介面2002b之一俯視圖的一實例。

參考圖14A，超穎介面2002a包含複數個單元晶胞2010a，其等包含奈米樑2020a、2020b。類似地，超穎介面2002b包含複數個單元晶胞2010b，其等包含奈米樑2020c、2020d。如同奈米樑2020a、2020b，奈米樑2020c、2020d之一者比另一者寬。如本文所揭示，單元晶胞2010a、2010b之特徵之尺寸可基於超穎介面經組態以重新定向之光線之波長及重

新定向之所要程度而選定。在超穎介面經組態以重新定向不同波長之光線之位置處，奈米樑2020a及2020c之寬度可彼此不同，及/或奈米樑2020b及2020d之寬度可彼此不同。例如，超穎介面2002a可經組態以重新定向對應於綠色之光線，而超穎介面2002b可經組態以重新定向對應於紅色之光線。在一些實施例中，其中各超穎介面經組態以重新定向一不同範圍之波長之光線之此一配置可有利地減少其中不同波導用以傳播不同波長之光線之一波導堆疊之大小。有利地，超穎介面2002a、2002b可用作為內耦合光學元件及/或外耦合光學元件以允許一單一波導用以導引對應於不同組分色彩之光線，藉此避免使用一波導。

如所繪示，超穎介面2002a以透射模式作用且選擇性地重新定向光線2040a，同時允許光線2040b在無需重新定向之情況下透過超穎介面傳播。接著，光線2040b入射於發射模式超穎介面2002b上，其反射光線2040b使得光線2040b在一所要方向上(其不同於期望一鏡面反射器之方向)傳播。

現在參考圖15A至圖15E，圖中繪示用於形成一超穎介面之一程序流程之一實例。參考圖15A，用於形成奈米樑2020a、2020b之一光學透射材料之一層2020沈積於基板2000上。可使用(例如)一氣相沉積程序(諸如化學氣相沈積(CVD)，包含電漿輔助化學氣相沉積)完成該沈積。隨後，參考圖15B，一選擇性可界定材料(例如一光阻(諸如一奈米壓印光阻))沈積於層2022上。光阻2022可藉由噴塗(例如噴墨印刷)沈積，其可提供用於形成異常薄層且亦提供具有可變成分及/或厚度之層之優點。

參考圖15C，一壓印模板或主控器2024與光阻2022接觸以圖案化該光阻。在一些其他實施例中，壓印模板2024中之圖案可藉由(例如)微影

(包含電子束微影或EUV微影)形成。

參考圖15D，形成於光阻層2022中之圖案轉印至光學透射層2020。應瞭解可使用針對相對於其他曝露材料之形成光學透射材料2020之材料選擇之一蝕刻完成此圖案轉印。在一些實施例中，圖案轉印蝕刻可為一各向異性蝕刻(諸如一活性離子蝕刻)。隨後，在一些實施例中，光阻層2022可使用(例如一灰化程序)移除。

現在參考圖15E，圖中形成包括奈米樑2020a、2020b之複數個單元晶胞2010。應瞭解儘管為易於繪示而適應性地展示為具有類似寬度，但如本文所揭示，奈米樑2020a、2020b具有不同寬度。

圖16A及圖16B繪示一超穎介面之掃描電子顯微圖。超穎介面大體上如相對於圖15A至圖15E所描述而形成，其中光阻藉由電子束微影圖案化。有利地，形成對應於奈米樑2020a、2020b之材料之高度均勻列。如圖16B中所展示，各奈米樑具有一實質上均勻橫截面形狀，如所繪示之側視圖中所見。

儘管圖中未繪示，但應瞭解反射模式超穎介面可通過圖15E中所展示之結構之額外處理形成。例如，一反射材料可沈積於奈米樑2020a、2020b之間的敞開體積中，且沈積於該等奈米樑上以形成圖11A及圖11B中所繪示之結構。在一些其他實施例中，奈米樑2020a、2020b可藉由蝕刻反射層中之溝渠且隨後使用奈米樑2020a、2020b之材料填充溝渠而形成。

作為另一實例，圖12中所繪示之結構可藉由使一層光學透射間隔材料沈積於奈米樑2020a、2020b上及奈米樑2020a、2020b之間而形成。隨後，反射層可沈積於間隔層上。在一些實施例中，可使用氣相沉積程序

(例如化學氣相沈積(CVD)程序及/或物理氣相沈積(PVD)程序)完成該等沈積。

如本文所討論，根據各種實施例之超穎介面提供一寬範圍之無害角度之高度均勻繞射效率。圖17繪示展示一透射超穎介面之繞射效率對光線之入射角之一圖表的一實例。有利地，變幅約 50° 之角度之一跨度之繞射效率係高度均勻。

高均勻性亦由一反射超穎介面之各種實施例提供。圖18A至圖18C繪示展示一反射超穎介面之繞射效率對光線之入射角之圖表的實例。入射光線之波長對於圖18A至圖18C之各者係不同的。有利地，圖表在一大範圍之入射角上係高度平坦的。另外，對於對應於紅色、綠色及藍色之不同波長，圖表有利地係類似的。此均勻性可有益地應用於利用不同組分色彩之顯示系統。繞射之均勻性可助於形成具有高色彩準確度之高品質影像。

亦發現超穎介面之繞射效率高度依賴於瞬時光線之偏振。圖19A及圖19B繪示展示圖10A及圖10B之超穎介面之偏振靈敏度之圖表的實例。如圖19A中所展示，繞射效率對於具有平行於形成不對稱光柵之奈米樑之一偏振之入射光線係較高。然而，具有垂直於奈米樑之一偏振之光線具有低繞射效率。鑑於此偏振靈敏度(如本文所示)，超穎介面可有利地用作為一偏振光束分離器。較佳地，超穎介面針對不同偏振之光線提供5或更大、7或更大或9或更大之消光比。

如本文所討論，由本文所揭示之超穎介面重新定向之光線之振幅及相位取決於形成金屬表面之奈米樑之寬度。圖20繪示圖10A及圖10B之超穎介面之振幅及相移對奈米樑之寬度之圖表。如圖表所指示，奈米樑或奈米線之寬度可經調整以操縱經重新定向之光線之振幅及相位。

現參考圖21A，在一些實施例中，超穎介面可包含一多層級不對稱光柵。圖21A繪示包含複數個層級之光學透射材料之一多層級超穎介面2008之一橫截面側視圖的一實例。應瞭解在正交於所繪示之奈米樑2020a、2020b之長形軸之一平面上取得橫截面側視圖。奈米樑2020a、2020b形成於基板2000之表面2000a上。如所繪示，在一些實施例中，超穎介面2008係分別具有最低層級及最上層級2012、2014之一雙層級結構。最低層級2012包含由一第一光學透射材料形成之奈米樑2020a、2020b及由奈米樑2020a、2020b之間的一第二光學透射材料形成之塊狀物2030c。最上層級2014可直接垂直毗鄰奈米樑2020a、2020b且包含直接形成於奈米樑2020a上之第二光學透射材料之最上層級奈米樑2030a及直接形成於奈米樑2020b上之第二光學透射材料之最上層級奈米樑2030b。應瞭解第二光學透射材料之最上層級奈米樑2030a、2030b可接觸奈米樑2020a、2020b。如所繪示，在最上層級2014上，第二光學透射材料之奈米樑2020a、2020b可局部化於奈米樑2020a、2020b之表面上，從而形成與第二光學透射材料之其他局部化沈積物(或坪)隔開之材料之坪。

繼續參考圖21A，較佳地，形成奈米樑2030a、2030b及塊狀物2030c之第二光學透射材料之折射率比形成奈米樑2020a、2020b之第一光學透射材料及形成基板2000之材料兩者之折射率高。在一些實施例中，形成奈米樑2020a、2020b之第一光學透射材料之折射率比形成基板2000之材料之折射率低或類似於形成基板2000之材料之折射率。

繼續參考圖21A，奈米樑2020a、2020b之第一光學透射材料較佳地係可藉由(例如)微影程序及蝕刻程序圖案化之一材料。更佳地，第一光學透射材料係可藉由奈米壓印圖案化之一奈米壓印光阻。如本文所討論，形

成奈米樑2030a、2030b及塊狀物2030c之第二光學透射材料可具有比奈米樑2020a、2020b之第一光學透射材料及形成基板2000之材料兩者高之一折射率。在一些實施例中，第二光學透射材料之折射率比1.6、1.7、1.8或1.9高。第二光學透射材料之材料之實例包含半導體材料(包含含有矽之材料)及氧化物。含有矽之材料之實例包含氮化矽及碳化矽。氧化物之實例包含氧化鈦、氧化鋯及氧化鋅。在一些實施例中，第二光學透射材料可具有比此等氧化物低之光學透明度。例如，第二光學透射材料可為矽或其衍生物。在一些實施例中，第一光學透射材料及第二光學透射材料係非晶固態材料或結晶固態材料。不受理論限制，在一些應用中可期望非晶材料，此係由於其等可在比一些結晶材料低之溫度下形成且形成於比一些結晶材料寬之一範圍之表面上。在一些實施例中，形成特徵2020a、2020b、2030a、2030b、2030c之第一光學透射材料及第二光學透射材料之各者可為一非晶或結晶半導體材料之一者。

如上文所討論，在一些實施例中，形成單元晶胞2010之奈米樑2020a、2020b之寬度 NW_1 、 NW_2 分別可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至300 nm或10 nm至250 nm)。一單元晶胞2010之奈米樑2020a、2020b可分離達5 nm至1 μm 之範圍內寬(包含10 nm至1 μm 寬或10 nm至300 nm寬)之一間隙。單元晶胞2010之節距P可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至500 nm或300 nm至500 nm)。在一些實施例中，奈米樑2020a、2020b之高度 h_{nw} 可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至500 nm或10 nm至450 nm)。塊狀物2030c之高度 h_m 可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至600 nm)。較佳地，奈米樑2030a、2030b及塊狀物2030c之高度實質上係類似的。

發現單元晶胞之特徵之尺寸可取決於用以形成超穎介面之材料之性質而改變。例如，奈米樑之高度可取決於用於該等奈米樑之材料之折射率而改變。在一些實施例中，奈米樑之高度可為10 nm至450 nm，在材料之一折射率係大於3.3之處；及10 nm至1 μm ，在折射率係3.3或更小之處。作為另一實例，奈米樑之高度可為10 nm至450 nm，在奈米樑由矽(例如非晶矽或多晶矽)形成之處。在一些實施例中，奈米樑2030a、2030b及塊狀物2030c之材料之高度可在10 nm至1 μm 之範圍內(包含10 nm至600 nm)。

在尺寸之上述範圍內，應瞭解，在一些實施例中，超穎介面可以一主要反射模式或一主要透射模式作用，取決於尺寸之適當選擇連同特徵2030a、2030b、2030c之材料。例如，對於一給定波長之光線，以反射模式作業之一超穎介面2008之特徵2030a、2030b、2030c之厚度可比以一透射模式作業之一超穎介面之特徵2030a、2030b、2030c之厚度低。另外，在透射模式或反射模式中，針對特徵2030a、2030b、2030c使用一較高折射率材料可允許減小該等特徵之厚度同時達成類似光線重新定向性質。

繼續參考圖21A，超穎介面2008以反射模式作業，其中入射光線2200入射於超穎介面2008上且藉由依一角度繞射而重新定向使得光線藉由全內反射透過基板2000傳播。如所繪示，在一些實施例中，特徵2030a、2030b、2030c之高度可比奈米樑2020a、2020b之高度低。應瞭解光線可理解為兩次通過以反射模式作業之超穎介面(當入射光線入射於超穎介面上時第一次通過，且當光線透過及遠離超穎介面反射時第二次通過)，藉此允許具有比以透射模式作業之一超穎介面低之高度之特徵2030a、2030b、2030c及奈米樑2020a、2020b具有類似光線重新定向能

力。

現參考圖21B，圖中繪示依據具有圖21A中所展示之一般結構之一超穎介面之光線之入射角透射及反射之一圖表之一實例。透射及反射光線之各種繞射級分別指示為「T」及「R」。在此實例中，奈米樑2020a、2020b由一光學透射光阻形成且特徵2030a、2030b、2030c由氧化鈦形成。氧化鈦具有2.6之一有利地高折射率，其可促進減小特徵2030a、2030b、2030c及奈米樑2020a、2020b相對於較低折射率材料之厚度或高度。對於各單元晶胞，奈米樑2020a之寬度係50 nm；奈米樑2020b之寬度係110 nm；奈米樑2020a與2020b之間間隙係40 nm；奈米樑2020a、2020b之高度係100 nm；特徵2030a、2030b、2030c之高度係50 nm；且單元晶胞2010之節距係382 nm。

繼續參考圖22B，經反射且經歷第一級繞射至適合於TIR之角度(R_1)之入射於超穎介面2008上之光線之百分比對於 0° 之一入射角係約25%，且對於自約 -10° 至約 10° 之入射角在25%與42%之間改變。如所繪示，零級反射有利地係較低。在超穎介面2008用於利用一反射空間光調變器之一顯示裝置(諸如一顯示系統250 (圖6))之位置處，零級反射可非所要地引起光線反射回空間光調變器，其接著將光線反射回觀察者，藉此引起非所要影像假影(諸如鬼影)。因此，在此等應用中可期望一低量零級反射。另外，如所繪示，入射光線之一部分被透射(T_0)而入射光線之另一部分經歷負第一級繞射(R_{-1})。

現參考圖22A，圖中繪示以透射模式操作之一超穎介面2008。顯著地，除特徵2030a、2030b、2030c之高度及視情況形成此等特徵2030a、2030b、2030c之材料之外，超穎介面2008類似於圖21A中所展示之超穎

介面。如所繪示，在一些實施例中，塊狀物2030c之高度(及奈米樑2030a、2030b之對應高度)可比奈米樑2020a、2020b之高度大。在所繪示之實施例中，光線2200透過超穎介面2008傳播且繞射成一角度使得其藉由全內反射透過基板2000傳播。

現參考圖22B，圖中繪示依據具有圖22A中所展示之一般結構之一光學結構之光線之入射角透射及反射之一圖表之一實例。如上所述，透射及反射光線之繞射級分別指示為「T」及「R」。對於各單元晶胞，奈米樑2020a之寬度係50 nm；奈米樑2020b之寬度係110 nm；奈米樑2020a與2020b之間間隙係50 nm；奈米樑2020a、2020b之高度係150 nm；特徵2030a、2030b、2030c之高度係190 nm；且單元晶胞2010之節距係382 nm。在此實例中，奈米樑2020a、2020b由一光學透射光阻形成且特徵2030a、2030b、2030c由氮化矽形成，其具有2.0之一折射率。

繼續參考圖22B，經透射且經歷負第一級繞射至適合於TIR之角度(T_{-1})之入射於超穎介面上之光線之百分比對於 0° 之一入射角係約35%，且對於自約 -10° 至約 10° 之入射角在35%與56%之間改變。亦如所繪示，入射光線之一部分在不重新定向之情況下被透射(T_0)，入射光線之另一部分經歷正第一級繞射(T_1)。

現參考圖23A至圖23D，圖中繪示用於形成超穎介面2008之一程序流程之一實例。參考圖14A，一第一材料之一層2020 (例如光阻(諸如一奈米壓印光阻))沈積於基板2000上。層2020較佳地係光學透射且可藉由(例如)旋塗沈積。在一些實施例中，層2020可藉由噴塗(例如噴墨印刷)沈積，其可提供用於形成異常薄層且亦提供具有可變成分及/或厚度之層之優點。

參考圖23B，一壓印模板或主控器2024與光阻層2020接觸以圖案化

該層。應瞭解壓印模板2024中之圖案可為待形成之超穎介面之奈米樑之圖案之一負片。壓印模板2024中之圖案可藉由(例如)微影(包含電子束微影或EUV微影)形成。有利地，相同模板2024可再使用以圖案化多個基板上之光阻，藉此減少最終形成之超穎介面之每單位製造成本。

在接觸壓印模板2024之後，光阻2020呈現由模板2024中之開口界定之圖案。在一些實施例中，可藉由(例如)曝露於光(諸如UV光)及/或熱而固化光阻2020以固化該光阻。接著，模板2024可回縮以留下具有奈米樑2020a、2020b之一圖案化光阻，如圖23C中所展示。在一些其他實施例中，光阻層中之圖案可轉印至材料之一下伏層(例如如圖15A至圖15E中所展示)且可移除該光阻，藉此在材料之該下伏層中形成奈米樑2020a、2020b。

現參考圖23D，一第二材料隨後沈積於奈米樑2020a、2020b上以形成奈米樑2030a、2030b。第二材料之材料之實例包含：半導體材料，其包含含有矽之材料(諸如矽、氮化矽、碳化矽)；氧化物，其包含氧化鋅、氧化鋅及氧化鈦；及光學透射光阻。如本文所揭示，第二材料2030較佳地係一光學透射材料。第二材料2030可由各種程序(包含覆面沈積、定向沈積及旋塗或噴塗)沈積。覆面沈積之實例包含：化學氣相沈積(CVD)，其中光阻曝露於同時存在於含有基板2000之一沈積腔室中之互相反應前驅體；及原子層沈積(ALD)，其中光阻替代地曝露於前驅體。ALD可提供用於精確控制沈積層之厚度之優點，其中高精確度係所要的，且亦用於在低溫下沈積材料。定向沈積之實例包含蒸鍍及濺鍍以將第二材料優先輸送至奈米樑2020a、2020b及基板2000之頂面上。

應瞭解具有根據本文所揭示之各種實施例之基板2000可用以形成顯

示系統(諸如本文所揭示之系統1000 (圖6))。例如，超穎介面可用作為如本文所述之內耦合及/或外耦合光學元件。在一些實施例中，在製造超穎介面之後，波導2000可光學地耦合至一光管(諸如用於將影像資訊注入波導中之一光管)。在一些實施例中，光管可為一光纖。光管之實例包含影像注入裝置200、202、204、206、208 (圖6)及掃描光纖。在一些實施例中，可提供各具有超穎介面2010之複數個波導，且此等波導之各者可光學地耦合至一或多個影像注入裝置。

本文描述本發明之各種實例性實施例。以一非限制性意義參考此等實例。提供此等實例以繪示本發明之可更廣泛應用之態樣。可在不會背離本發明之真實精神及範疇之情況下對所描述之本發明實行各種改變且可取代等效物。

例如，儘管有利地利用提供跨越多個深度平面之影像之AR顯示器，但本文所揭示之增強實境內容亦可由在一單一深度平面上提供影像及/或具有虛擬實境顯示器之系統顯示。在其中多工影像資訊(例如不同色彩之光線)導引至一波導中的一些實施例中，多個超穎介面可提供於該波導上(例如對於各色彩之光線主動之一超穎介面)。在一些實施例中，奈米樑或形成超穎介面之奈米樑之節距或週期性及/或幾何大小可跨越一超穎介面改變。此一超穎介面可主動重新定向不同波長之光線，取決於其中該光線入射於超穎介面上之位置處之幾何形狀及節距。在一些其他實施例中，超穎介面特徵之幾何形狀及節距經組態以改變使得經偏轉之光線(甚至係類似波長之光線)依不同角度遠離超穎介面傳播。亦應瞭解多個分離之超穎介面可跨越一基板表面安置，其中在一些實施例中超穎介面之各者具有相同幾何形狀及節距，或其中在一些其他實施例中至少一些超穎介面具有不

同於其他超穎介面之幾何形狀及/或節距。

本文利用指定定向之各種術語。例如，奈米樑可描述為在一基板上或上方，且可描述為具有一高度(或厚度)。應瞭解此等術語係關於放置於一參考定向上(其中基板垂直於奈米樑下方)之奈米樑及基板。在此一定向上，一高度描述一垂直尺寸，而一間隙、節距或寬度描述一橫向尺寸(例如在面向(例如實質上平行於)奈米樑安置於其上之基板之表面之一平面中延伸)。然而，應瞭解奈米樑及基板不受限於其相對定向且可定位於相對於彼此之其他定向上。

另外，儘管有利地應用於顯示器(諸如可佩戴顯示器)，但超穎介面可應用於其中期望一緊湊低輪廓光線重新定向元件之各種其他裝置。例如，可應用金屬表面以大體上形成光學板(例如玻璃板)、光纖、顯微鏡、感測器、手錶、攝影機及影像投射裝置之光線重新定向部分。

另外，可實行諸多修改以適應一特定情況、材料、物質之成分、程序、(若干)目標之(若干)處理行為或步驟、本發明之精神或範疇。此外，如熟習技術者所應瞭解本文所描述及繪示之個別變型之各者具有可在不會背離本發明之範疇或精神之情況下易於自其它若干實施例之任何者之特徵分離或組合之離散組件及特徵。所有此等修改意欲在與本發明相關聯之申請專利範圍之範疇內。

本發明包含可使用主體裝置執行之方法。方法可包括提供此一適合裝置之行為。此提供可由使用者執行。換言之，「提供」行為僅需要使用者獲得、存取、接近、定位、設定、啟動、通電或其他行為以以主體方法提供必要裝置。本文所列舉之方法可以邏輯上可行之所列舉之事件之任何順序以及所列舉之事件之順序實施。

本發明之實例性態樣與關於材料選擇及製造之細節一起已在上文闡述。就本發明之其他細節而言，此等可連同上文所參考之專利及公開案瞭解及周知或由熟習技術者瞭解。就如通常或邏輯上採用之額外行為而言，相對於本發明之基於方法之態樣亦可如此。

為易於描述，本文使用指示特徵之相對位置之字語。例如，各種特徵可描述為在其他特徵之「上」、「上方」、「側」處、「高於」其他特徵或「低於」其他特徵。亦可使用相對位置之其他字語。相對位置之所有此等字語為了描述而假定由特徵形成為一整體之集合結構或系統在一特定定向上作為一參考點，但應瞭解在使用時，結構可定位為側向、翻轉或在任何數目個其他定向上。

另外，儘管已參考視情況併入各種特徵之若干實施例描述本發明，但本發明不受限於如相對於本發明之各變型所設想之描述及指示。可在不會背離本發明之真實精神及範疇之情況下對本發明實行各種改變且可取代等效物(本文所列舉或為簡明而未包含之等效物)。另外，在提供值之一範圍之位置處，應理解該範圍之上限與下限之間的每個中間值及任何陳述或該陳述範圍內之中間值涵蓋於本發明內。

另外，預期所描述之發明變型之任何選用特徵可獨立地闡述及主張或與本文所描述之特徵之任一或多者組合。參考一單數條目包含存在複數個相同條目之可能性。更具體而言，除非另有規定，否則如本文所使用且在與本文相關聯之申請專利範圍中，單數形式「一」及「該」包含複數指涉物。換言之，使用冠詞允許以上描述中之主體條目之「至少一者」及與本發明相關聯之申請專利範圍。應進一步注意此等申請專利範圍可起草此等申請專利範圍以排除任何選用元素。因而，此陳述意欲充當使用此專門

術語(如「僅」及其類似者)連同列舉申請專利範圍元件或使用一「負」限制之前置基礎。

不使用此等專門術語，與本發明相關聯之申請專利範圍中之術語「包括」應允許包含任何額外元件，不管一給定數目個元件是否枚舉於此等申請專利範圍中，或一特徵之添加可被視為轉換此等申請專利範圍中所闡述之一元件之本質。除本文特定界定之外，本文所使用之所有技術及科學術語盡可能寬泛地給定一一般理解之意義同時維持申請專利範圍效度。

本發明之寬度不受限於所提供之實例及/或主體說明書，但僅受限於與本發明相關聯之申請專利範圍語言之範疇。

【符號說明】

10	增強實境場景
15	點
15a	點
15b	點
20	真實世界類似公園設定
30	混凝土平台/真實世界平台
40	機器人雕像
50	飛行類似卡通化身特性
60	顯示系統
70	顯示器
80	框架
90	使用者/觀察者
100	揚聲器

110	麥克風
120a	周邊感測器
120b	通信鏈路
130	通信鏈路
140	局部資料處理模組/局部處理器及資料模組/局部處理 及資料模組
150	遠端處理模組
160	遠端資料儲存庫
170	通信鏈路
180	通信鏈路
190	影像
200	影像
210	眼睛
210a	晶體
220	眼睛
220a	晶體
221	物件/點
222a	眼睛
222b	眼睛
230	距離
240	深度平面
240a至240f	深度平面
250	顯示系統

260	堆疊波導總成
270	波導
280	波導
290	波導
300	波導
310	波導
320	特徵/透鏡
330	特徵/透鏡
340	特徵/透鏡
350	特徵/透鏡
360	影像注入裝置
370	影像注入裝置
380	影像注入裝置
390	影像注入裝置
400	影像注入裝置
410	輸出表面
420	輸出表面
430	輸出表面
440	輸出表面
450	輸出表面
460	輸入表面
470	輸入表面
480	輸入表面

490	輸入表面
500	輸入表面
510	世界
520	光投射器系統
530	光線模組/光源
540	光調變器
550	光束分離器
560	控制器
570	外耦合光學元件
580	外耦合光學元件
590	外耦合光學元件
600	外耦合光學元件
610	外耦合光學元件
620	補償透鏡層
630	攝影機總成
640	光線
650	光線/出射光束
660	堆疊/組
670	波導
680	波導
690	波導
700	內耦合光學元件
710	內耦合光學元件

720	內耦合光學元件
730	光線分佈元件
740	光線分佈元件
750	光線分佈元件
760a	層
760b	層
770	內耦合光線
780	內耦合光線
790	內耦合光線
800	外耦合光學元件
810	外耦合光學元件
820	外耦合光學元件
2000	基板/波導
2000a	表面
2002	超穎介面
2002a	超穎介面
2002b	超穎介面
2008	多層級超穎介面
2010	單元晶胞/超穎介面
2010a	單元晶胞
2010b	單元晶胞
2012	最低層級
2014	最上層級

2020	層
2020a	奈米樑/特徵
2020b	奈米樑/特徵
2020c	奈米樑
2020d	奈米樑
2021a	光線
2021b	光線
2022	光阻/光阻層
2024	壓印模板/主控器
2030a	最上層級奈米樑/特徵
2030b	最上層級奈米樑/特徵
2030c	塊狀物/特徵
2040a	光線
2040b	光線
2100	反射層
2110	間隔層
2200	光線
A _d	調節距離
h _m	高度
h _{nw}	高度
h _r	高度
h _s	高度
NW ₁	寬度

NW ₂	寬度
P	寬度/節距
R1	距離
R2	距離
R3	距離
V _d	聚散距離
θ _{TIR}	角度
α	角度

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種光學系統，其包括：

一光學透射基板，其包括一多層級超穎介面(metasurface)，該多層級超穎介面包括一低層級及一上層級，如一俯視圖橫截面中所見，該低層級包括：

複數個單元晶胞，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中該第一奈米樑及該第二奈米樑之高度係在

10 nm至450 nm之間的範圍，

其中該上層級包括在該第一奈米樑及該第二奈米樑之每一者之一頂部上之一材料層，其中形成該材料層之材料不同於形成該第一奈米樑或該第二奈米樑之材料。

【第2項】

如請求項1之光學系統，其中該等單元晶胞係橫向長形且彼此平行。

【第3項】

如請求項1之光學系統，其中該多層級超穎介面經組態以將一可見波長之入射光線繞射成一第一繞射級。

【第4項】

如請求項1之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至1 μm 。

【第5項】

如請求項4之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至300 nm。

【第6項】

如請求項1之光學系統，其中該等單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm 。

【第7項】

如請求項6之光學系統，其中該等單元晶胞之該節距係10 nm至500 nm。

【第8項】

如請求項1之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑分離達10 nm至1 μm 之一距離。

【第9項】

如請求項8之光學系統，其中該距離係10 nm至300 nm寬。

【第10項】

如請求項1之光學系統，其中該光學透射基板包括一玻璃。

【第11項】

如請求項1之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括矽。

【第12項】

如請求項11之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括氮化矽。

【第13項】

如請求項1之光學系統，其中該光學透射基板及該多層級超穎介面形成一偏振光束分離器。

【第14項】

如請求項1之光學系統，其中該光學透射基板係一波導板。

【第15項】

如請求項14之光學系統，其進一步包括多個該光學透射基板之一堆疊，其中該等單元晶胞之特徵之尺寸隨該等光學透射基板而變。

【第16項】

如請求項1之光學系統，其中該多層級超穎介面係一內耦合光學元件，其進一步包括經組態以將光線投射至該內耦合光學元件上之一影像注入裝置，其中該多層級超穎介面經組態以重新定向該光線以藉由全內反射使該光線透過該光學透射基板傳播。

【第17項】

如請求項1之光學系統，其中該多層級超穎介面係一外耦合光學元件，其中該多層級超穎介面經組態以將光線提出該光學透射基板外。

【第18項】

如請求項1之光學系統，其中該材料層之材料在該低層級上延伸於該第一奈米樑及該第二奈米樑之間。

【第19項】

如請求項18之光學系統，其中該材料層從該第一奈米樑之一頂部連續延伸至該第一奈米樑之側壁、越過在該光學透射基板上之在該第一奈米樑及該第二奈米樑之間之一分隔、至該第二奈米樑之側壁以及至該第二奈米樑之一頂部。

【第20項】

如請求項1之光學系統，其中該材料層之材料具有比形成該第一奈米樑、該第二奈米樑、或該光學透射基板中任一者之材料高之一折射率。

【第21項】

一種用於形成一多層級超穎介面之方法，該方法包括：

提供一光學透射基板；

在該光學透射基板上提供一光學透射層；及

圖案化該光學透射層以界定在該多層級超穎介面之一低層級上的複數個單元晶胞，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中該第一奈米樑及該第二奈米樑之高度係在

10 nm至450 nm之間的範圍，及

藉由沉積一材料層於該第一奈米樑及該第二奈米樑之每一者之一頂部上，以形成該多層級超穎介面之一上層級，其中該材料層之材料界定在該第一奈米樑與該第二奈米樑之間之一間隙，其中形成該材料層之材料不同於形成該第一奈米樑或該第二奈米樑之材料。

【第22項】

如請求項21之方法，其中圖案化該光學透射層包括：

在該光學透射層上提供一光阻層；

界定該光阻層中之一圖案；及

將該圖案自該光阻層轉印至該光學透射層。

【第23項】

如請求項22之方法，其中轉印包括執行一各向異性蝕刻(anisotropic

etch)。

【第24項】

如請求項21之方法，其進一步包括使一反射層形成於該材料層上。

【第25項】

如請求項21之方法，其中沉積該材料層包括藉由一保形毯覆沉積 (conformal blanket deposition) 來形成該材料層。

【第26項】

如請求項21之方法，其中沉積該材料層包括藉由一定向沉積 (directional deposition) 來形成該材料層。

【第27項】

一種光學系統，其包括：

一光學透射基板，其包括一多層級超穎介面，該多層級超穎介面包括一低層級及一上層級，該低層級包括：

複數個單元晶胞，如一俯視圖橫截面中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中該等單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm，

其中該上層級包括在該第一奈米樑及該第二奈米樑之每一者之一頂部上之一材料層，其中形成該材料層之材料不同於形成該第一奈米樑或該第二奈米樑之材料。

【第28項】

如請求項27之光學系統，其中該節距係300 nm至500 nm。

【第29項】

如請求項27之光學系統，其中該多層級超穎介面經組態以將一可見波長之入射光線繞射成一第一繞射級。

【第30項】

如請求項27之光學系統，其中該等單元晶胞係橫向長形且彼此平行。

【第31項】

如請求項27之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至1 μm 。

【第32項】

如請求項31之光學系統，其中該第二寬度係10 nm至300 nm。

【第33項】

如請求項27之光學系統，其中該等單元晶胞之一節距係10 nm至500 nm。

【第34項】

如請求項33之光學系統，其中該等單元晶胞之該節距係300 nm至500 nm。

【第35項】

如請求項27之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑分離達10 nm至1 μm 之一距離。

【第36項】

如請求項35之光學系統，其中該距離係10 nm至300 nm寬。

【第37項】

如請求項27之光學系統，其中該光學透射基板包括一玻璃。

【第38項】

如請求項27之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括矽。

【第39項】

如請求項38之光學系統，其中該第一奈米樑及該第二奈米樑包括氮化矽。

【第40項】

如請求項27之光學系統，其中該光學透射基板及該多層級超穎介面形成一偏振光束分離器。

【第41項】

如請求項27之光學系統，其中該光學透射基板係一波導板。

【第42項】

如請求項41之光學系統，其進一步包括多個該光學透射基板之一堆疊，其中該等單元晶胞之特徵之尺寸隨該等光學透射基板而變。

【第43項】

如請求項27之光學系統，其中該多層級超穎介面係一內耦合光學元件，其進一步包括經組態以將光線投射至該內耦合光學元件上之一影像注入裝置，其中該多層級超穎介面經組態以重新定向該光線以藉由全內反射使該光線透過該光學透射基板傳播。

【第44項】

如請求項27之光學系統，其中該多層級超穎介面係一外耦合光學元件，其中該多層級超穎介面經組態以將光線提出該光學透射基板外。

【第45項】

如請求項27之光學系統，其中該材料層之材料具有比形成該第一奈米樑、該第二奈米樑、或該光學透射基板中任一者之材料高之一折射率。

【第46項】

如請求項45之光學系統，其中該材料層從該第一奈米樑之一頂部連續延伸至該第一奈米樑之側壁、越過在該光學透射基板上之在該第一奈米樑及該第二奈米樑之間之一分隔、至該第二奈米樑之側壁以及至該第二奈米樑之一頂部。

【第47項】

如請求項27之光學系統，其中該材料層之材料具有比形成該第一奈米樑、該第二奈米樑、或該光學透射基板中任一者之材料高之一折射率。

【第48項】

一種用於形成一多層級超穎介面之方法，該方法包括：

提供一光學透射基板；

在該光學透射基板上提供一光學透射層；

圖案化該光學透射層以界定包括在該多層級超穎介面之一低層級上之複數個單元晶胞之一光柵，如一俯視圖中所見，各單元晶胞包括：

一橫向長形第一奈米樑，其具有一第一寬度；及

一橫向長形第二奈米樑，其與該第一奈米樑隔開，該第二奈米樑具有比該第一寬度大之一第二寬度，

其中該等單元晶胞之一節距係10 nm至1 μm ，及

藉由沉積一材料層於該第一奈米樑及該第二奈米樑之每一者之一頂部上，以形成該多層級超穎介面之一上層級，其中該材料層之材料界定在該第一奈米樑與該第二奈米樑之間之一間隙，其中形成該

材料層之材料不同於形成該第一奈米樑或該第二奈米樑之材料。

【第49項】

如請求項48之方法，其中該節距係300 nm至500 nm。

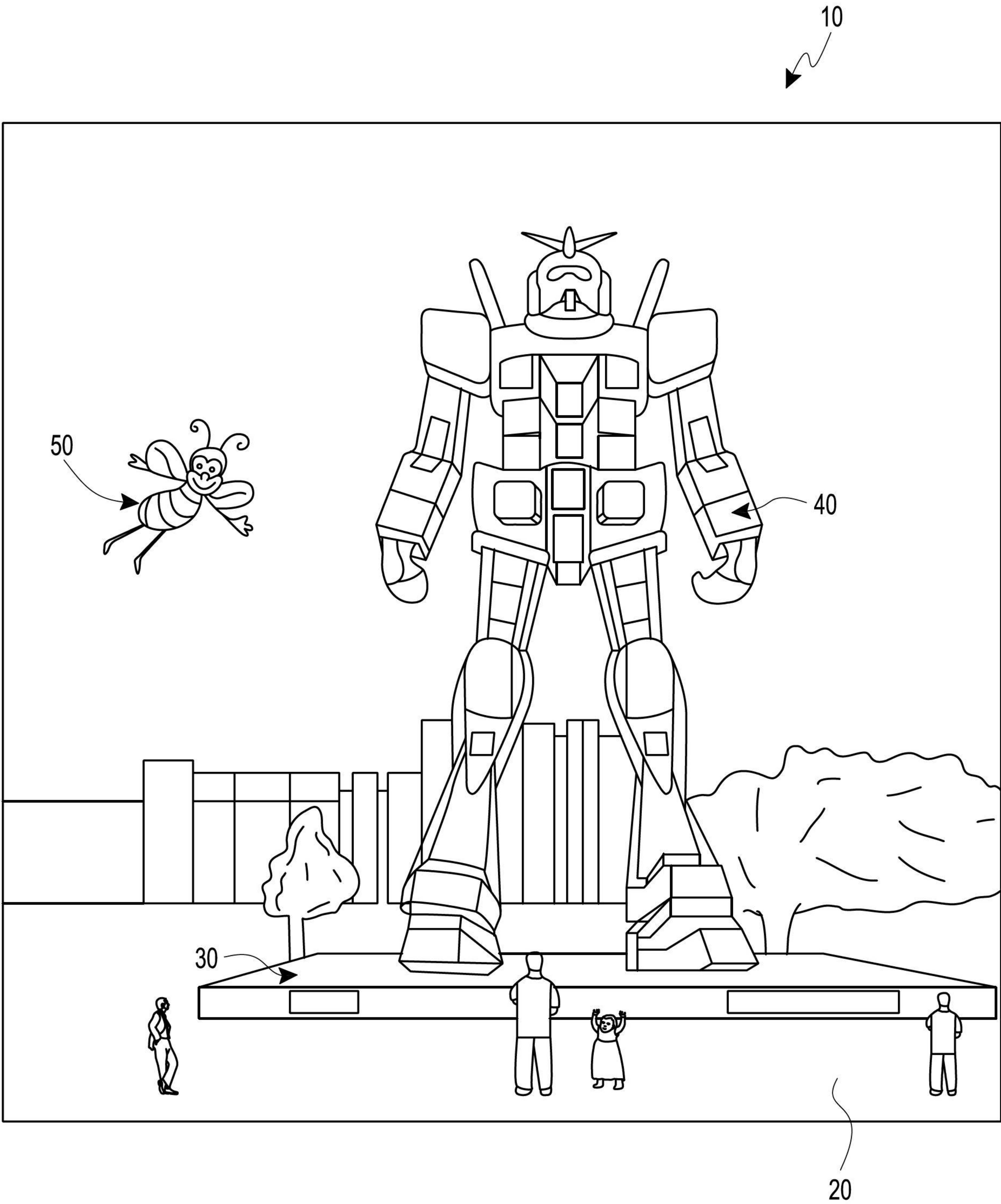
【第50項】

如請求項48之方法，其中沉積該材料層包括藉由一保形毯覆沉積 (conformal blanket deposition)來形成該材料層。

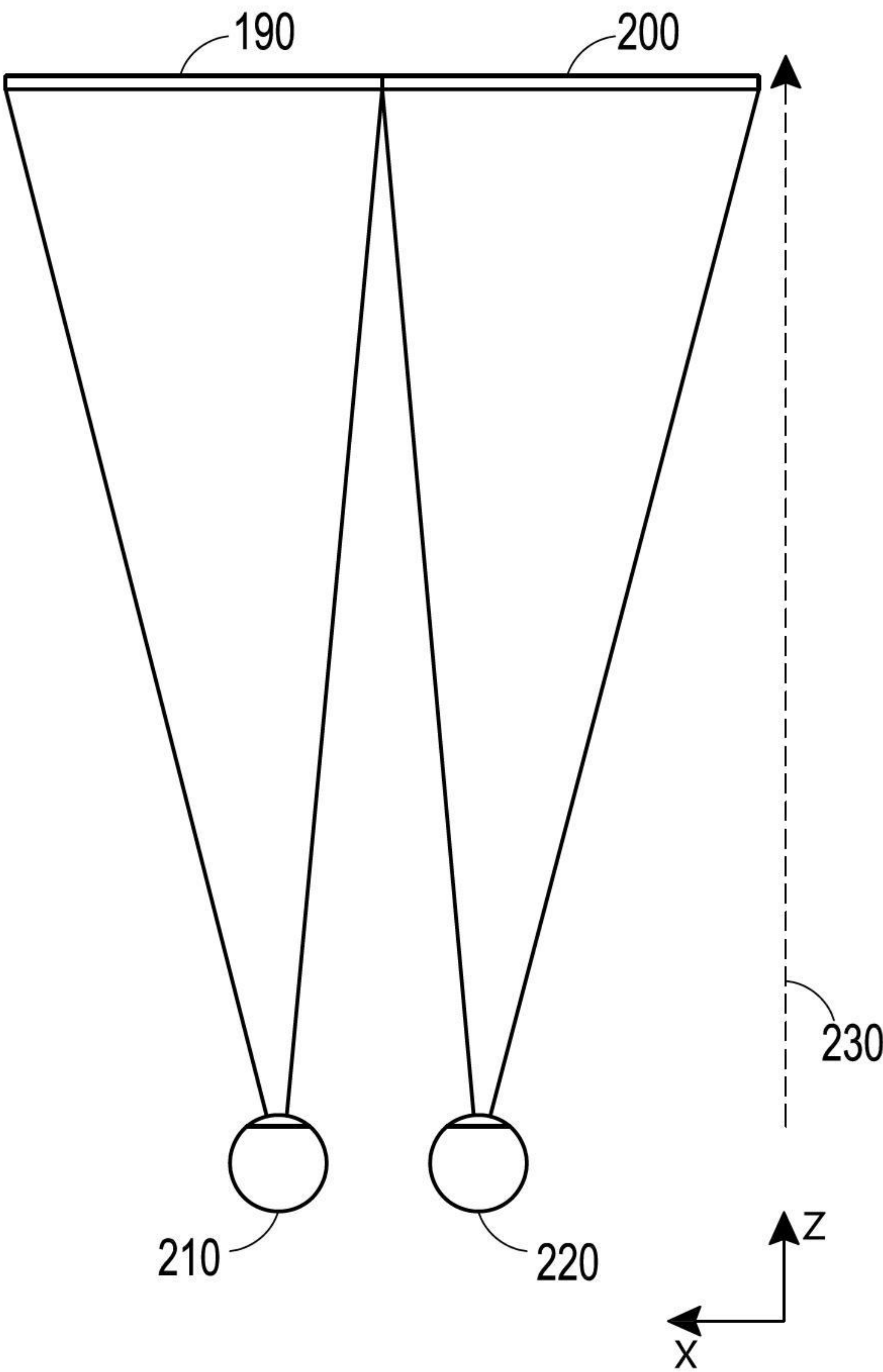
【第51項】

如請求項48之方法，其中沉積該材料層包括藉由一定向沉積 (directional deposition)來形成該材料層。

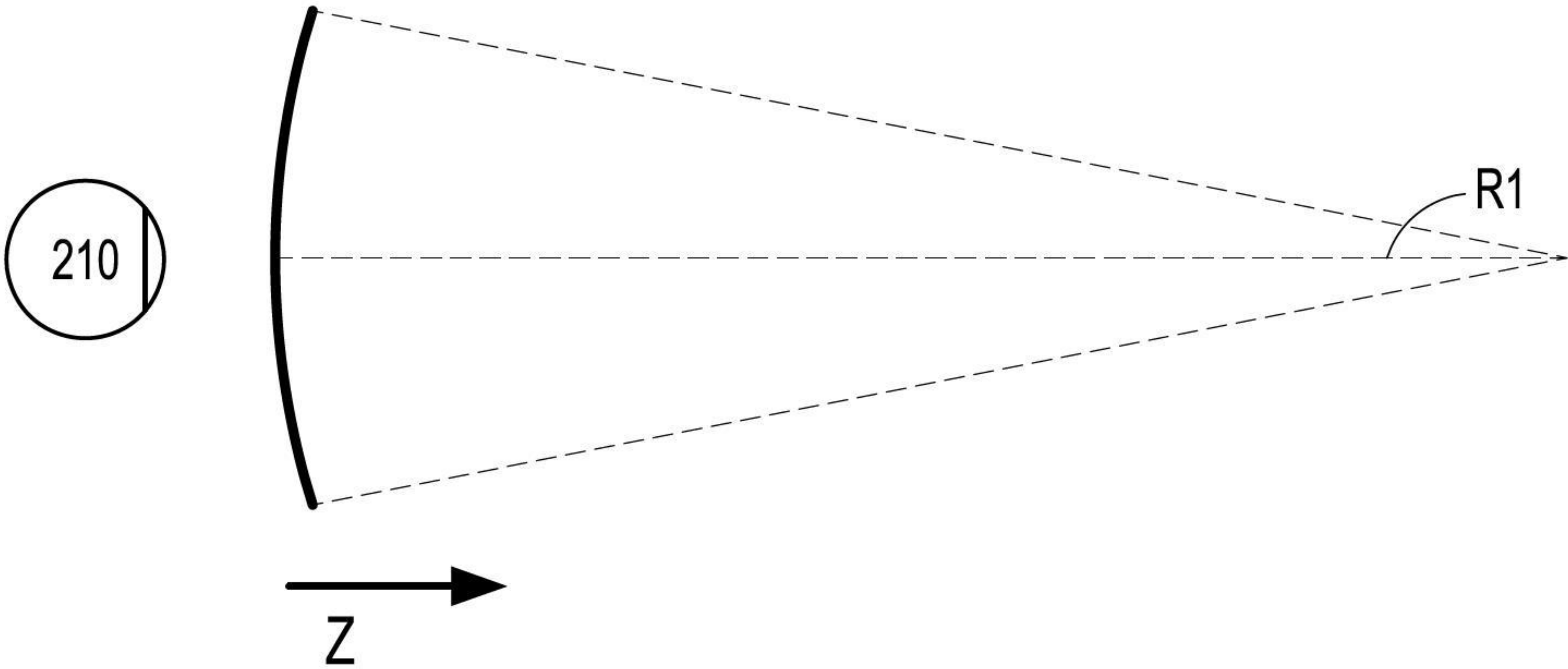
【發明圖式】



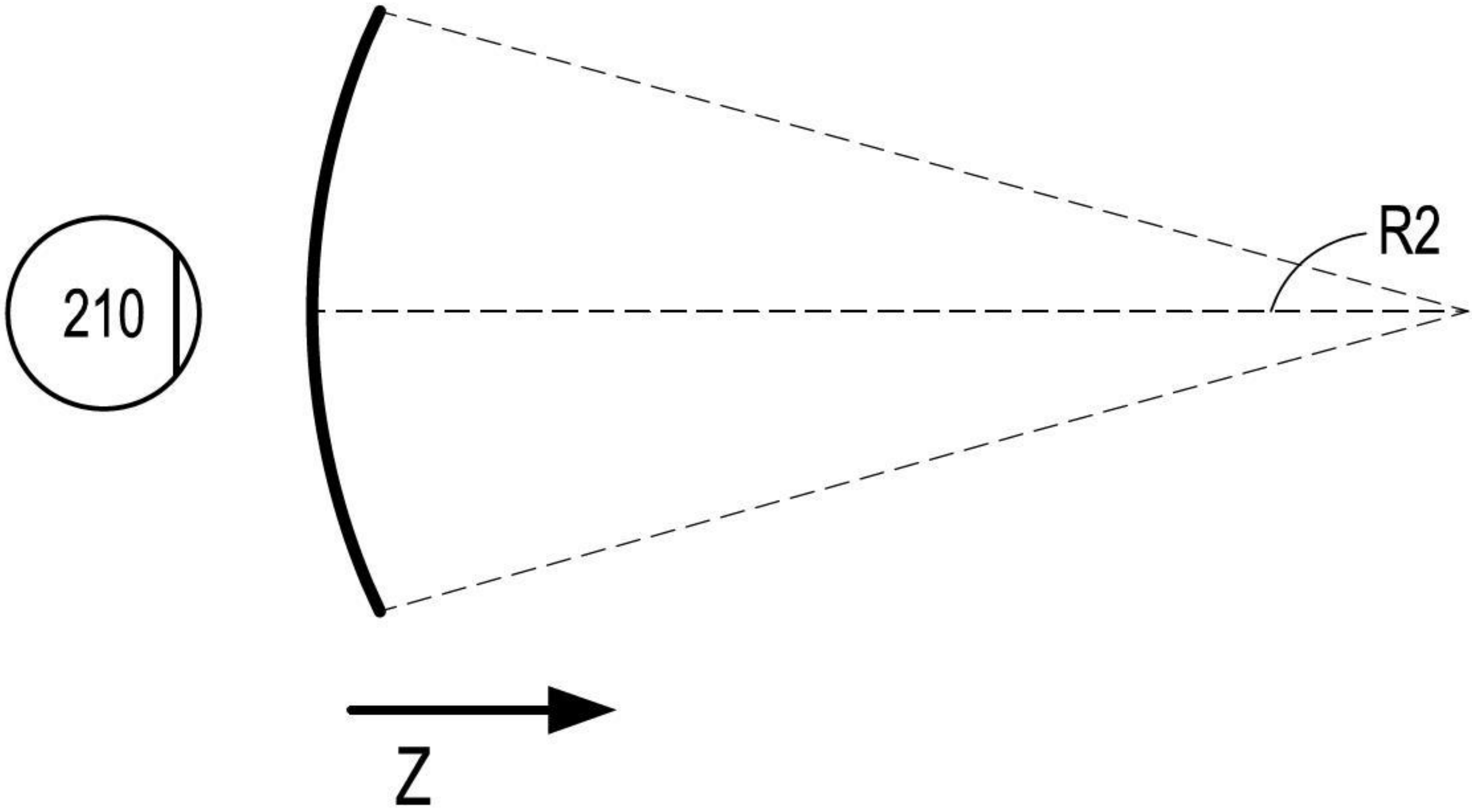
【圖1】



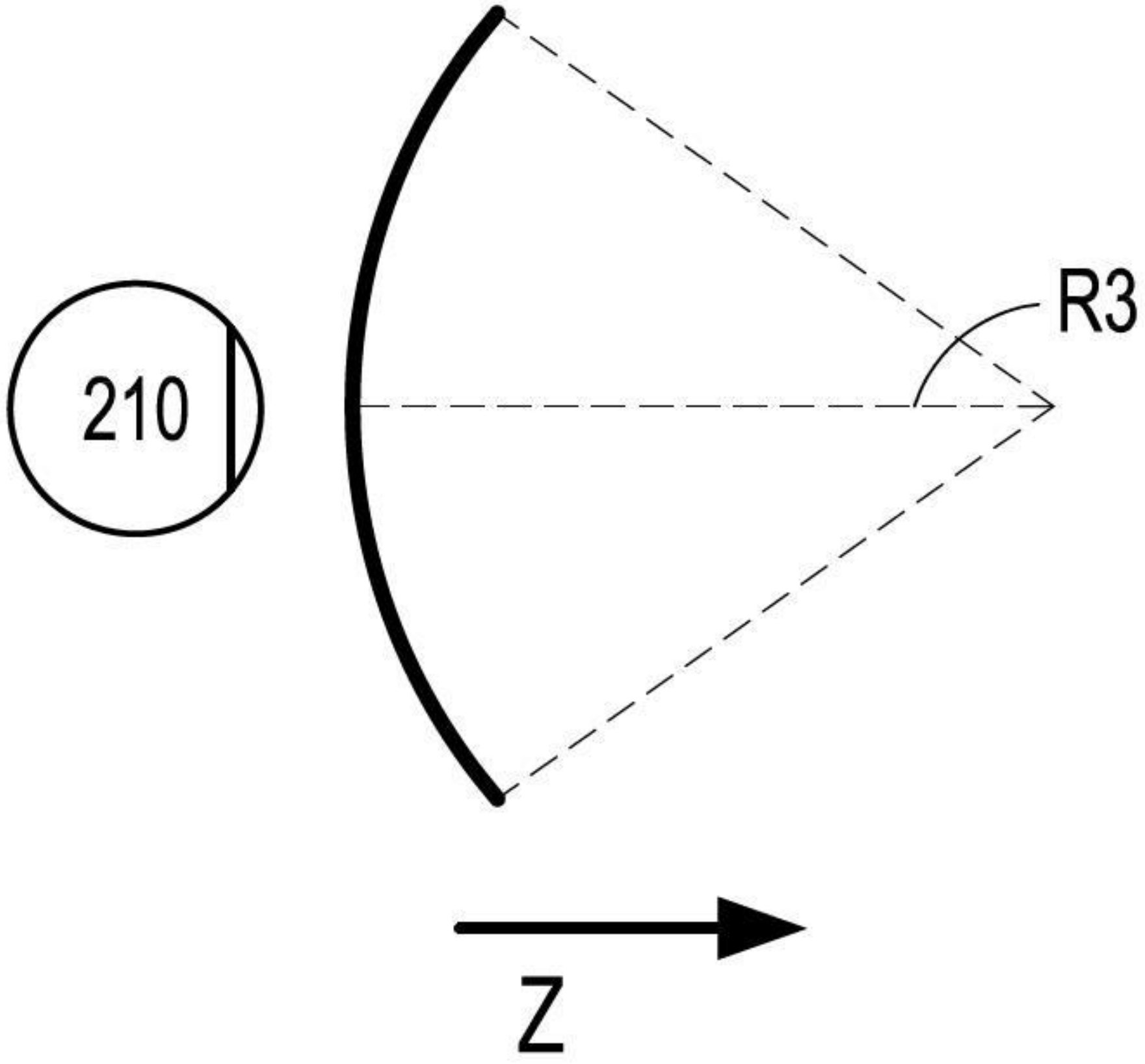
【圖2】



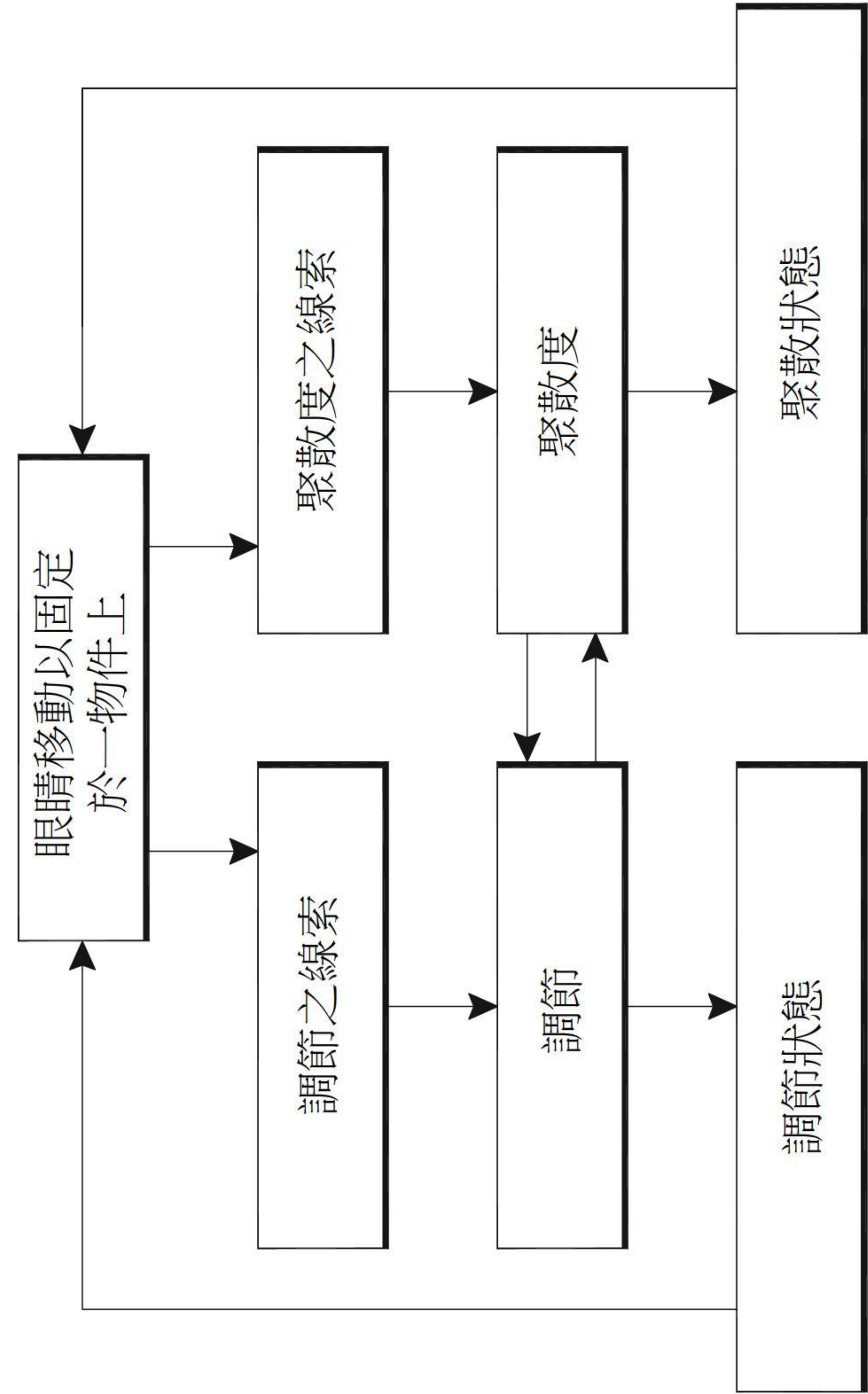
【圖3A】



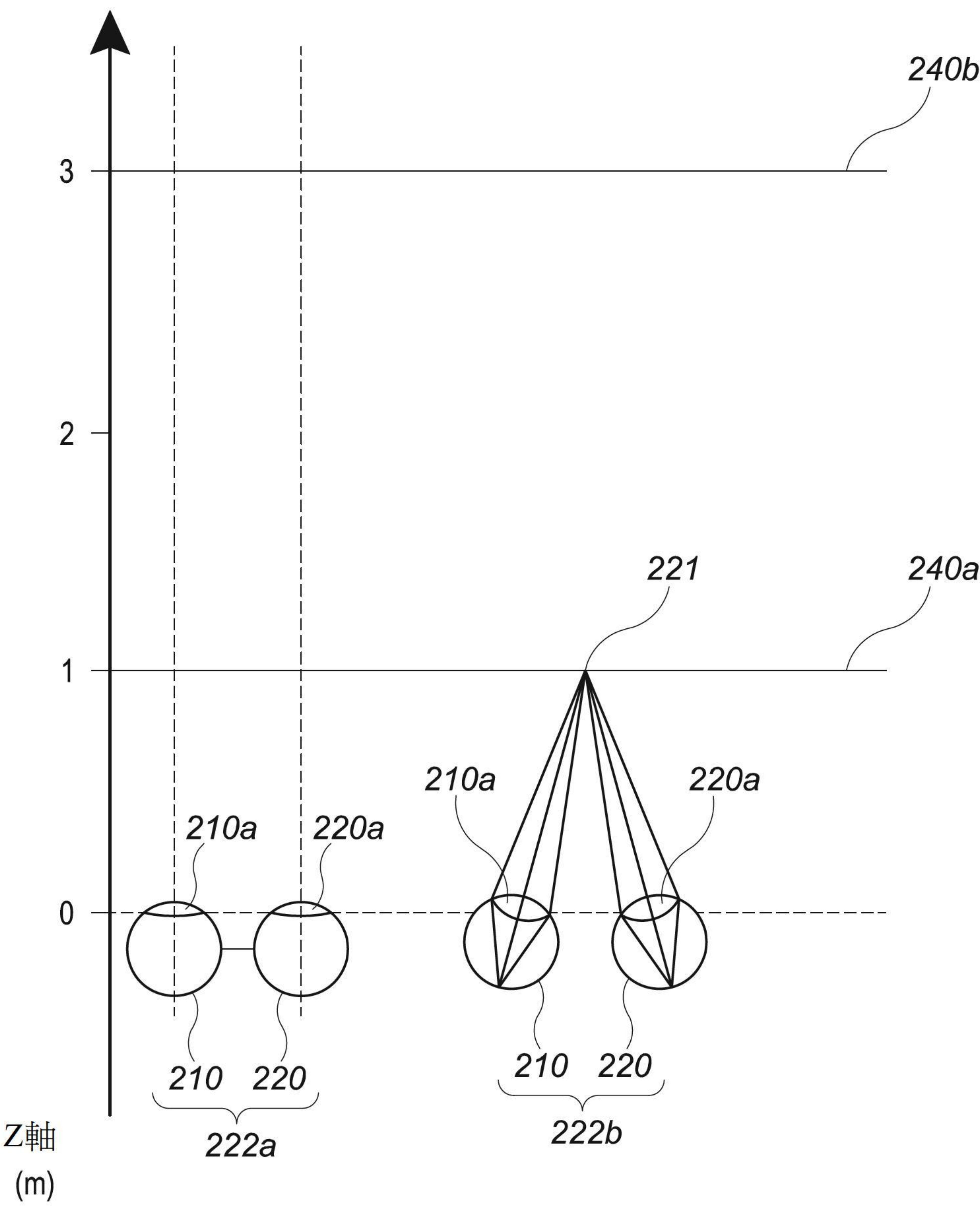
【圖3B】



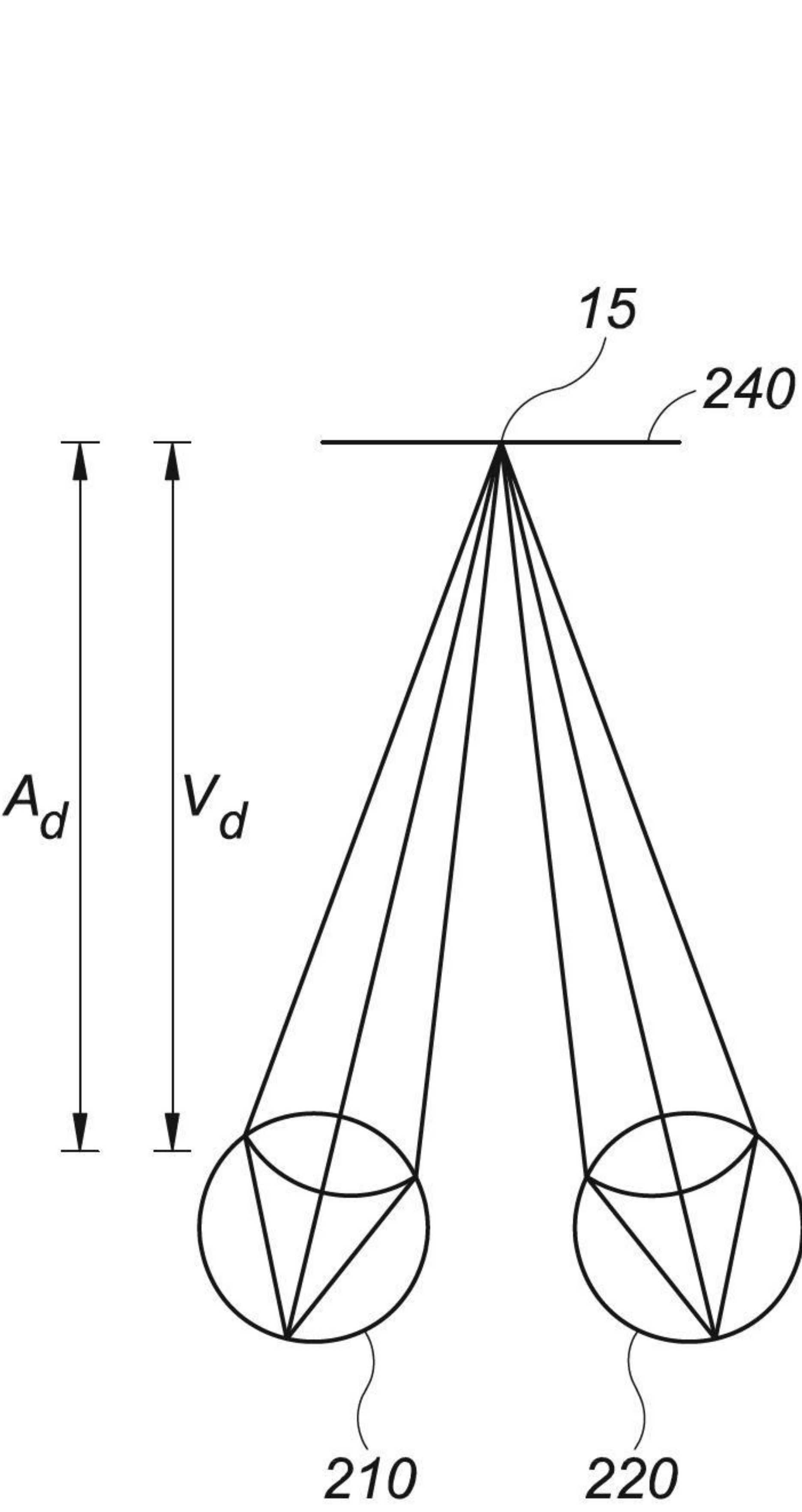
【圖3C】



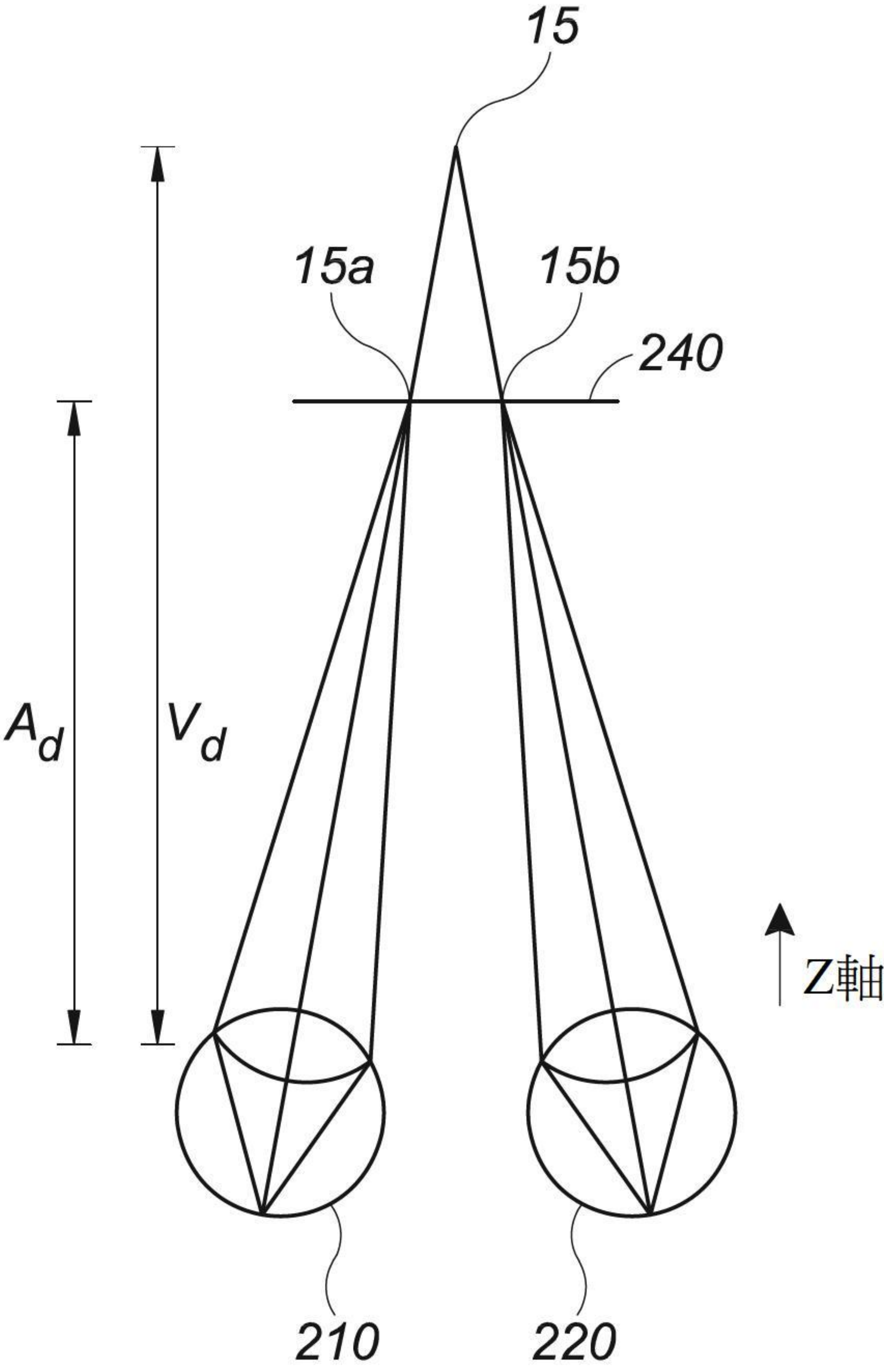
【圖4A】



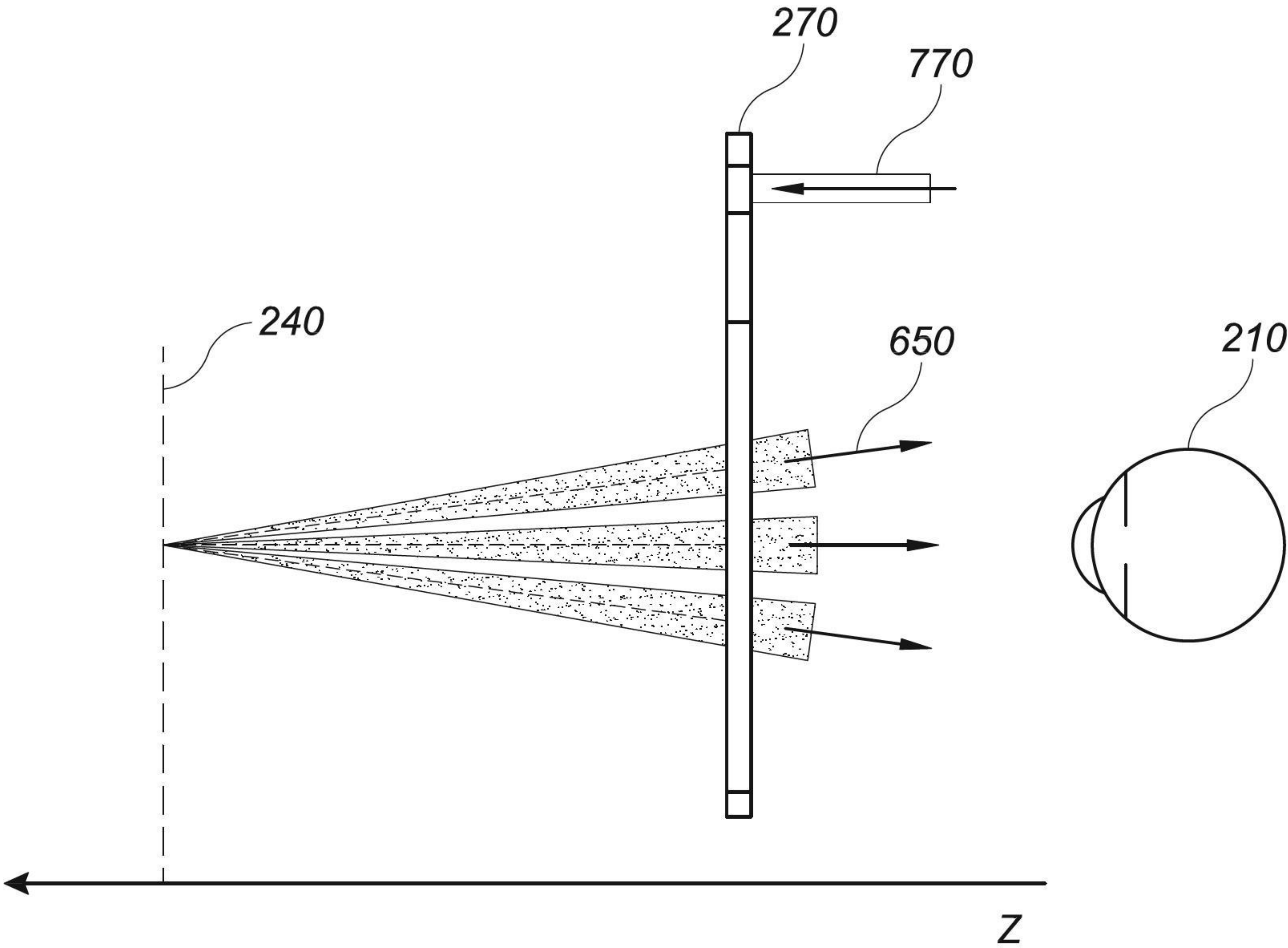
【圖4B】



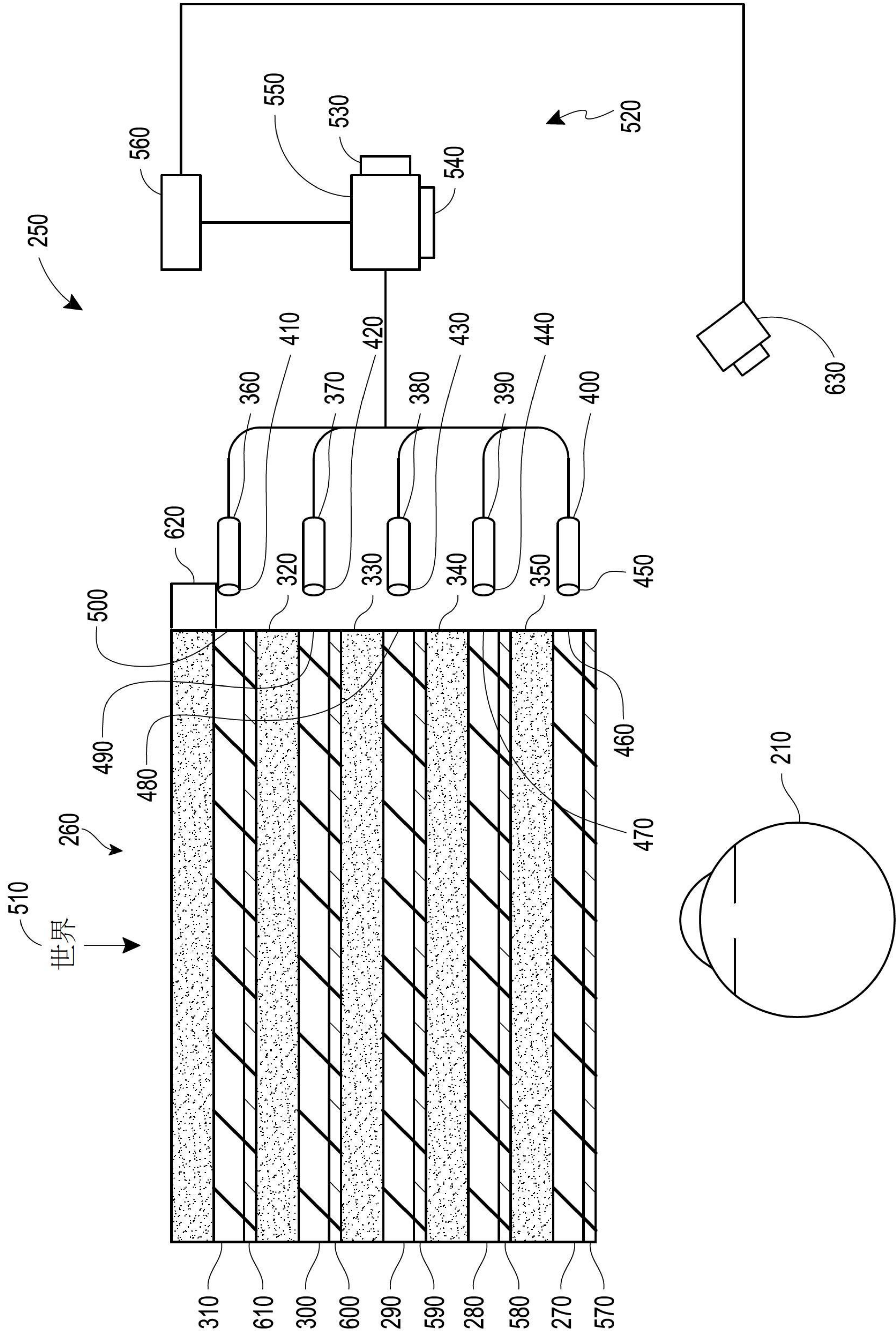
【圖4C】



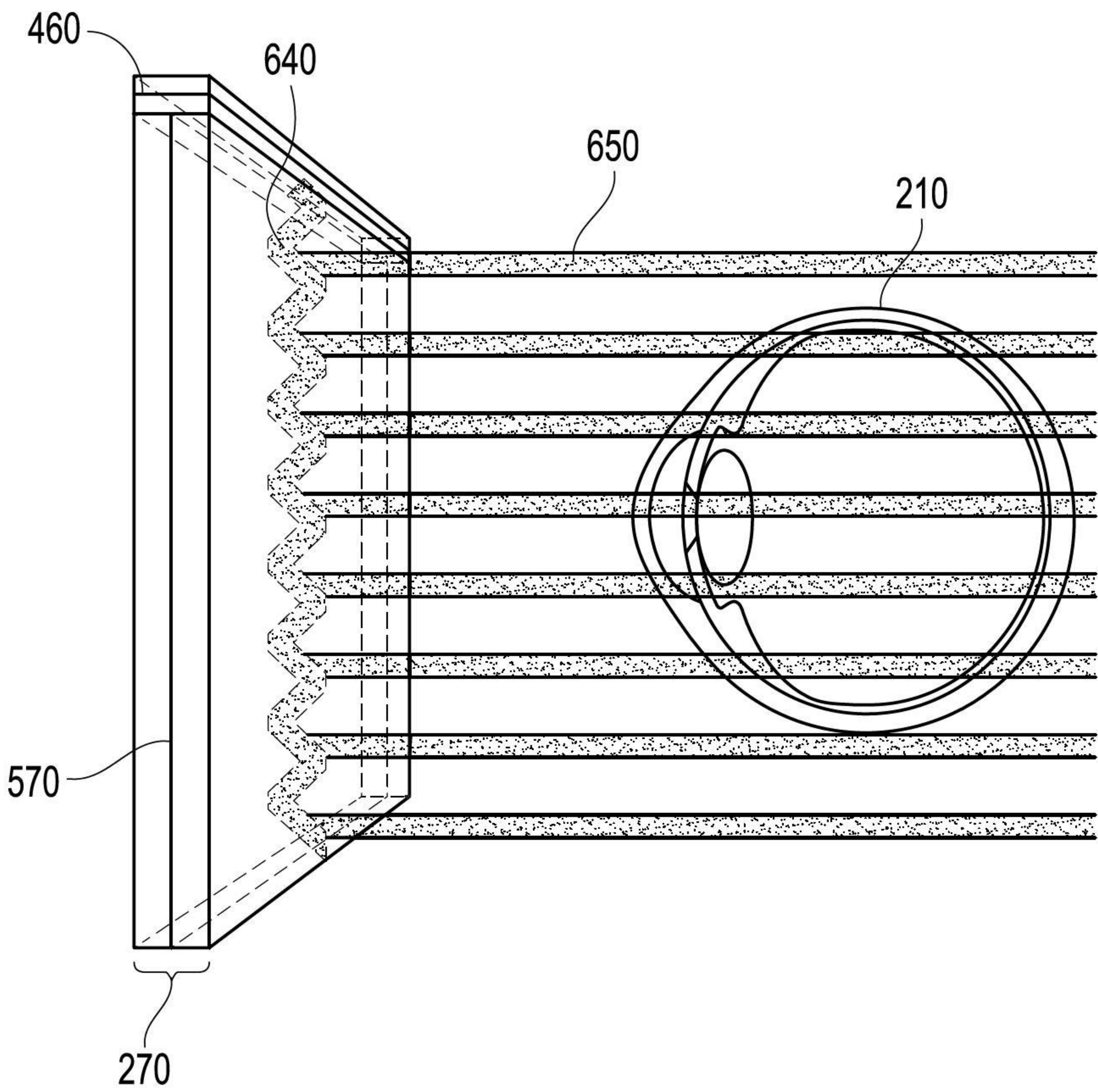
【圖4D】



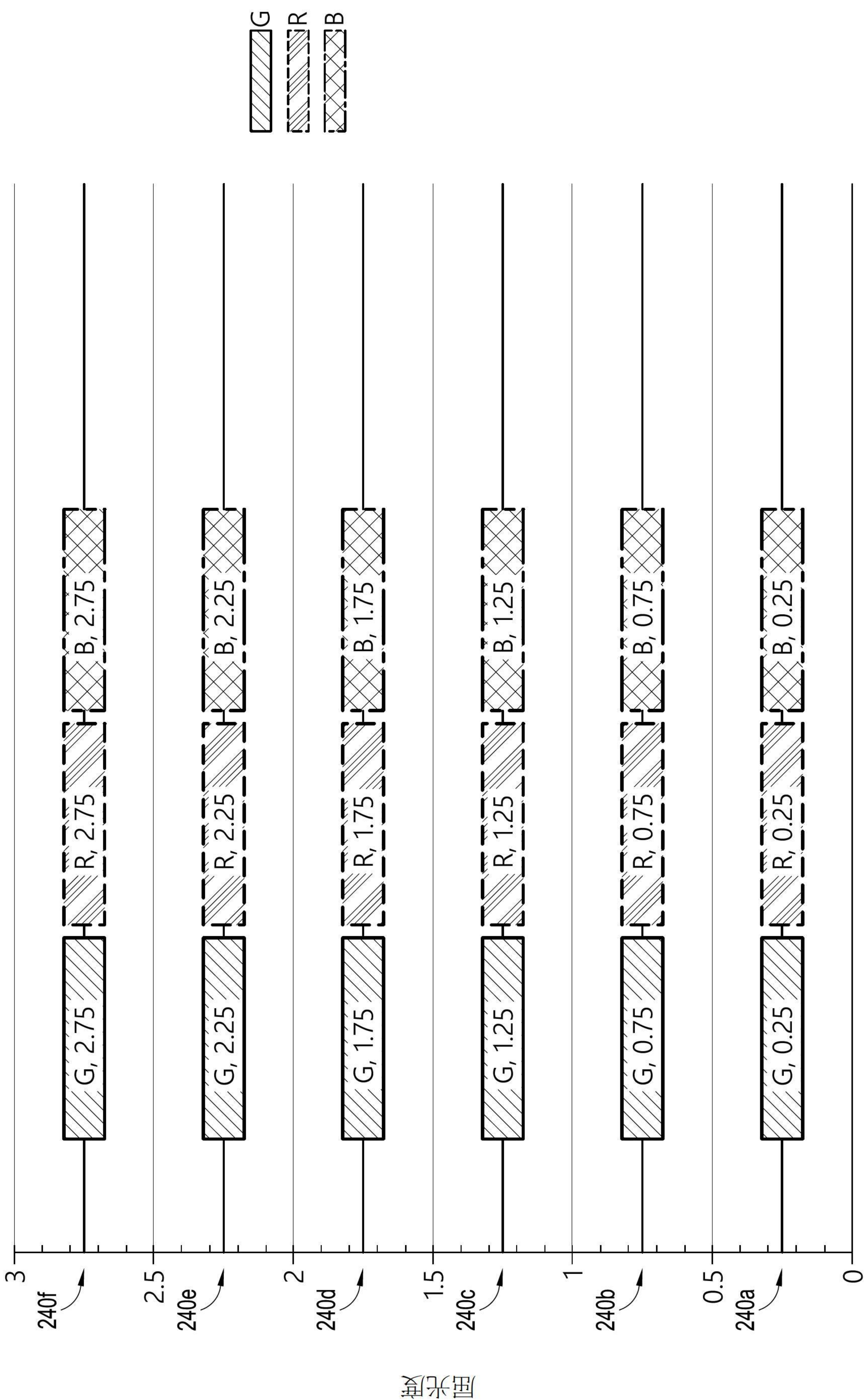
【圖5】



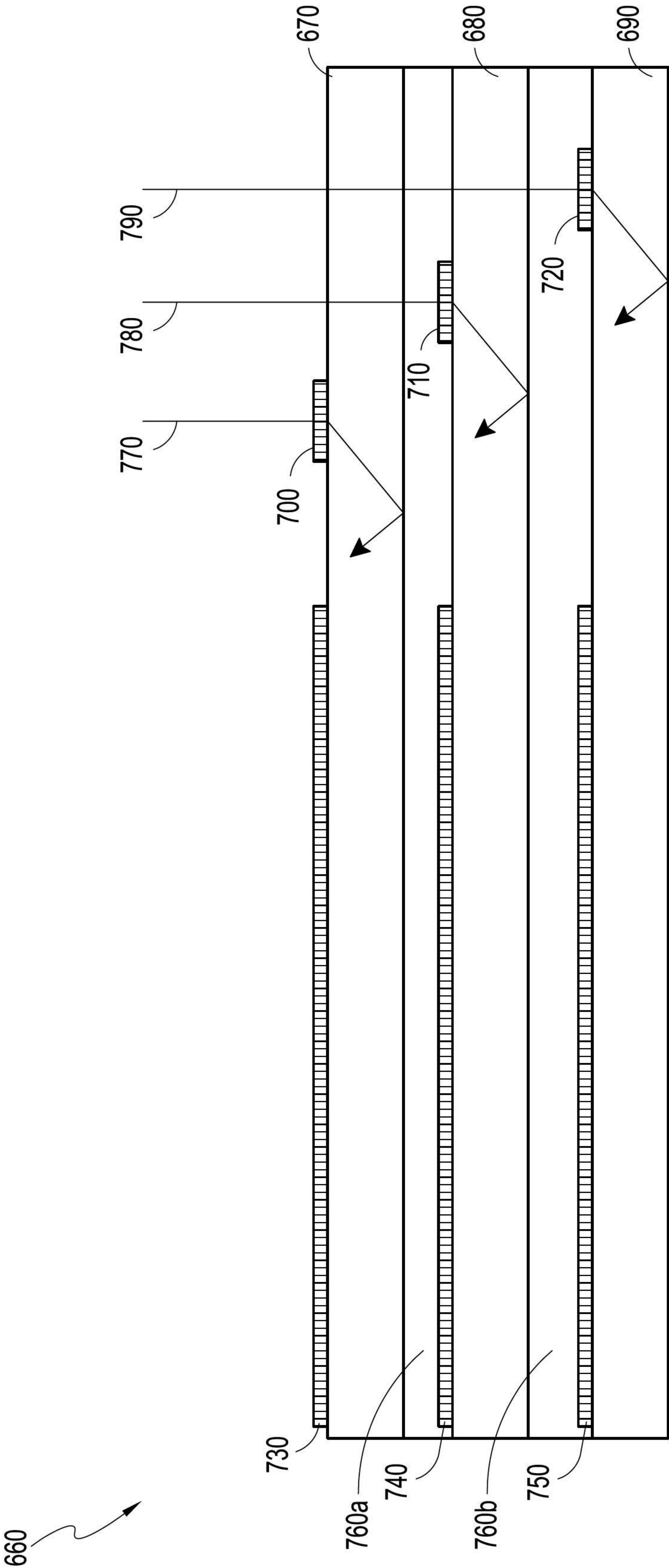
【圖6】



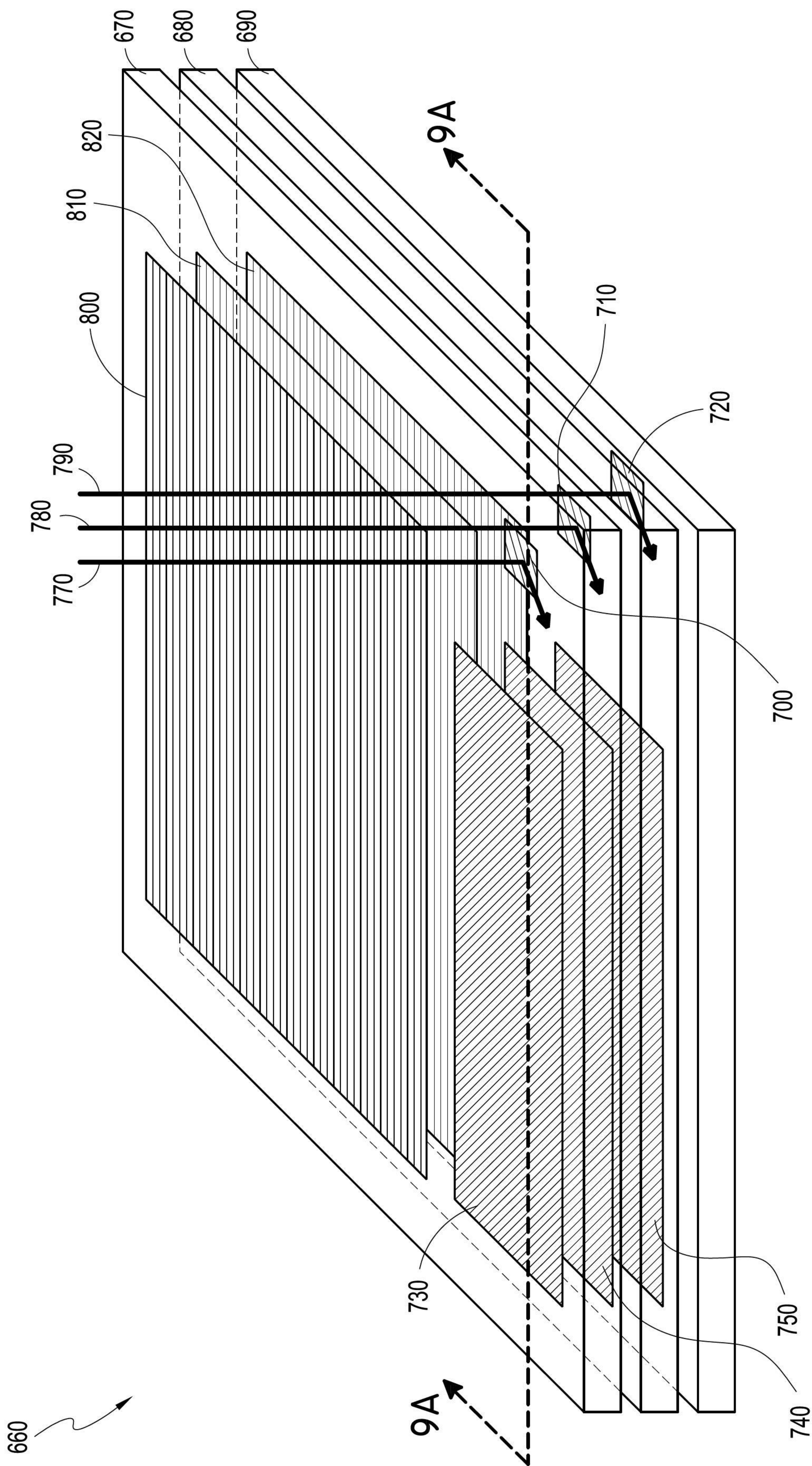
【圖7】



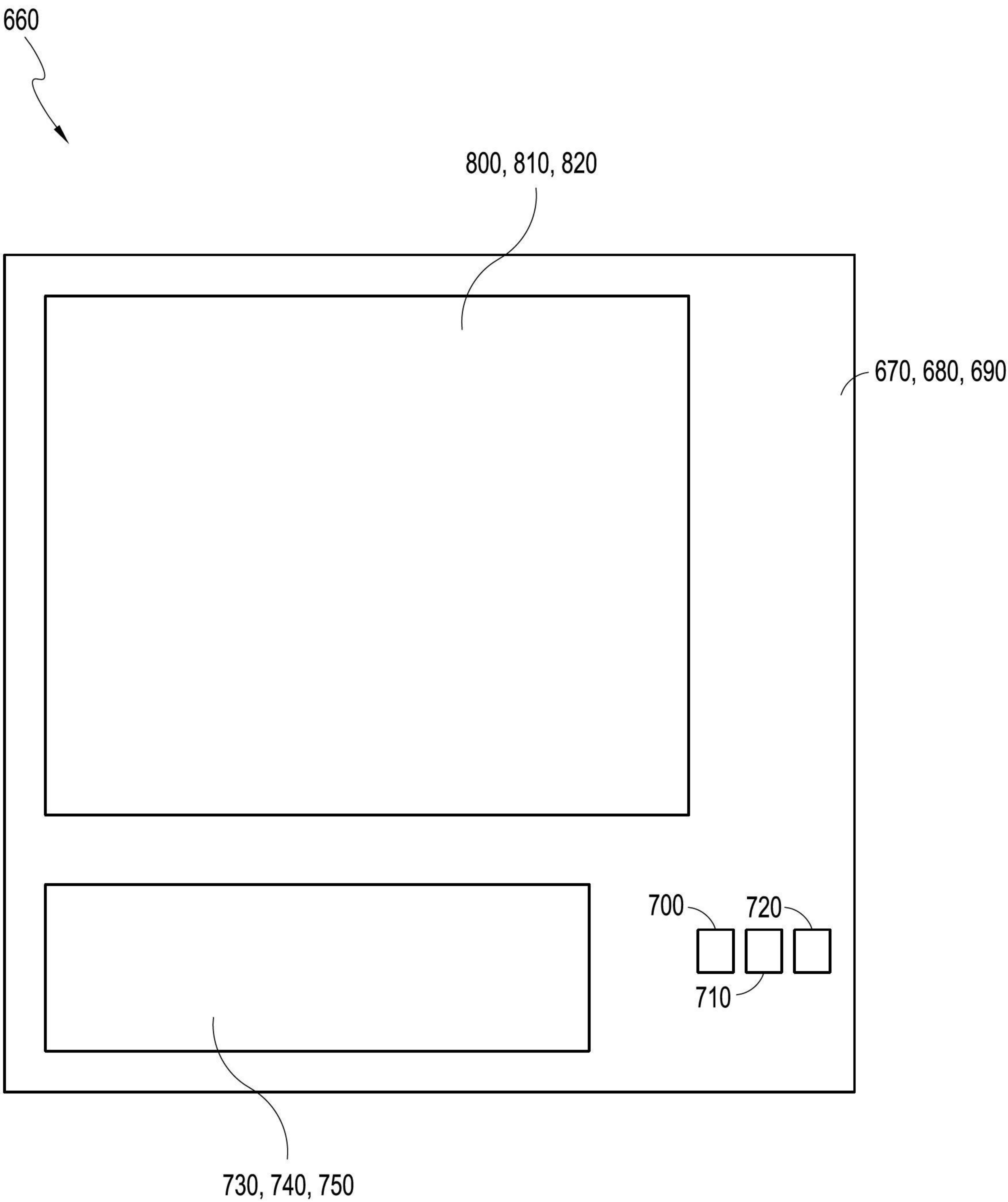
【圖8】



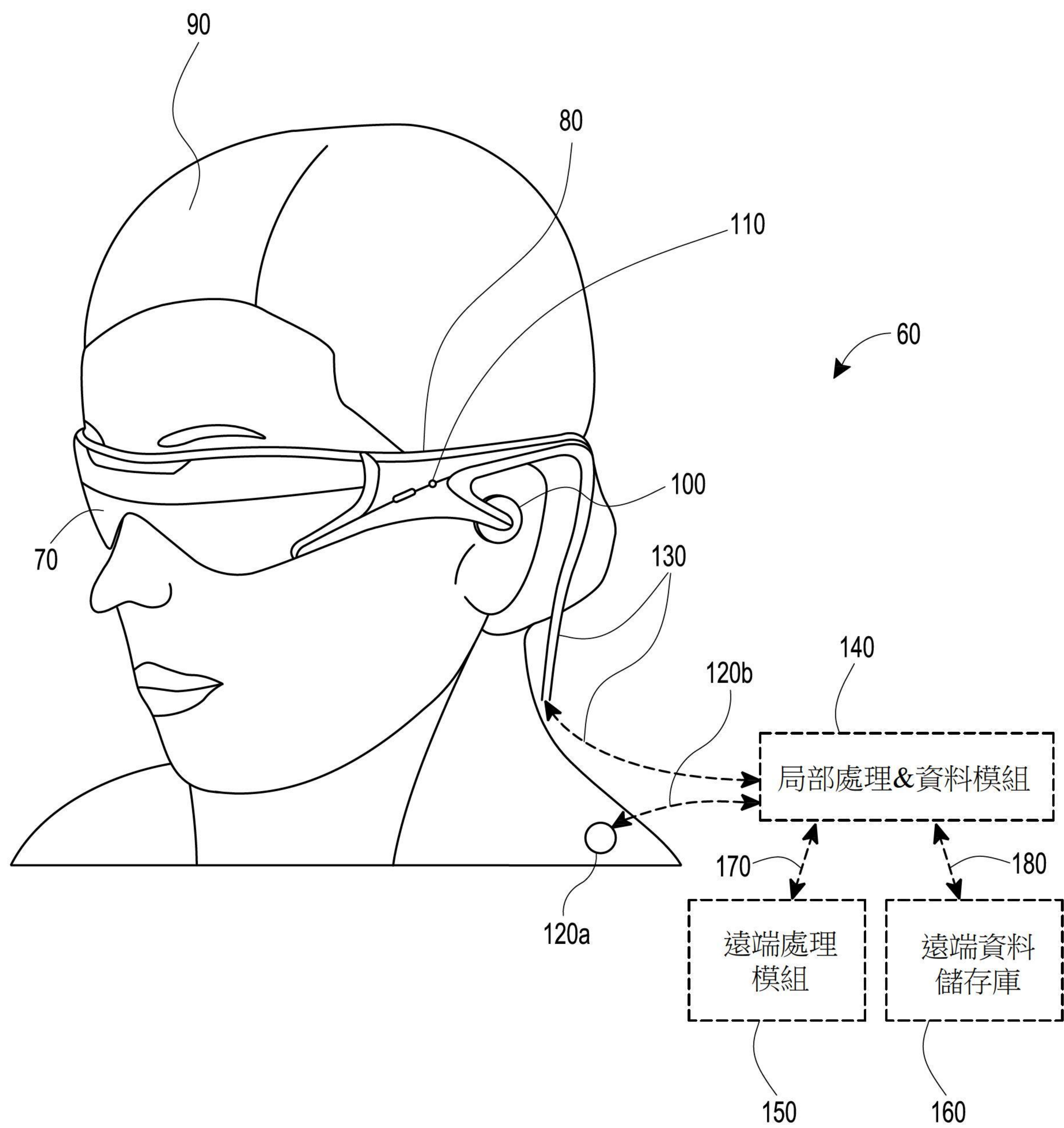
【圖9A】



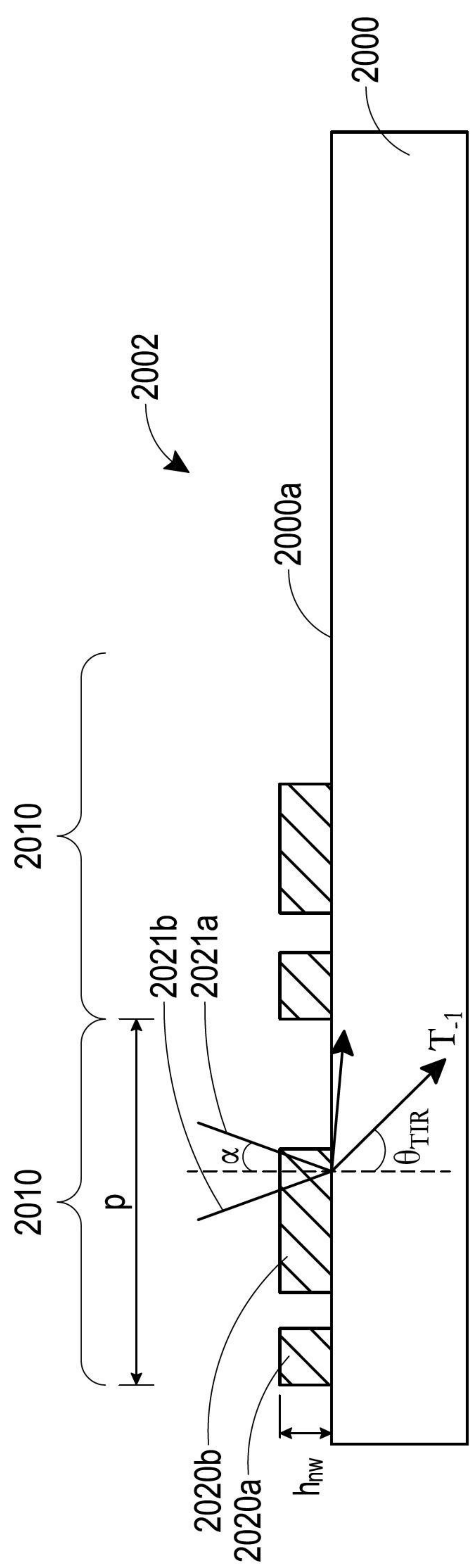
【圖9B】



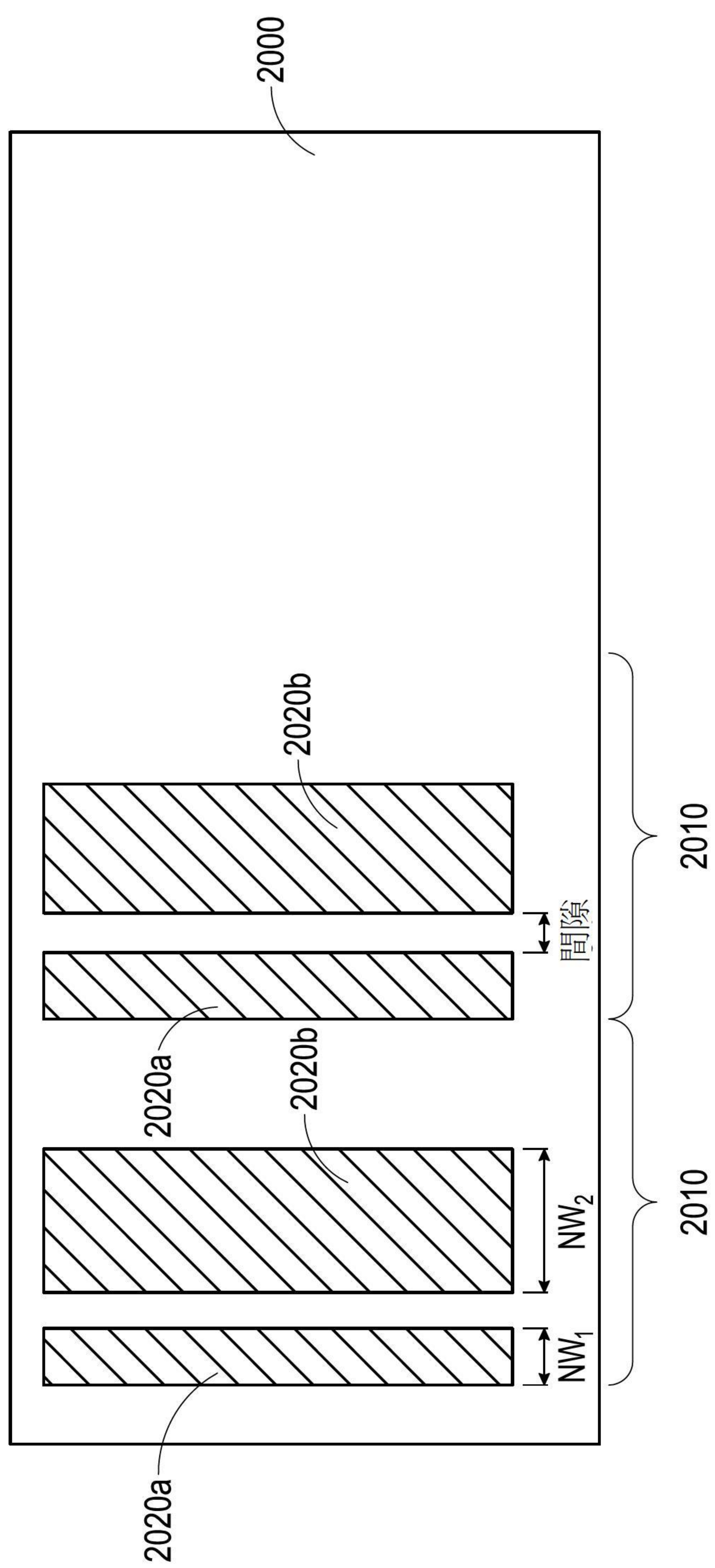
【圖9C】



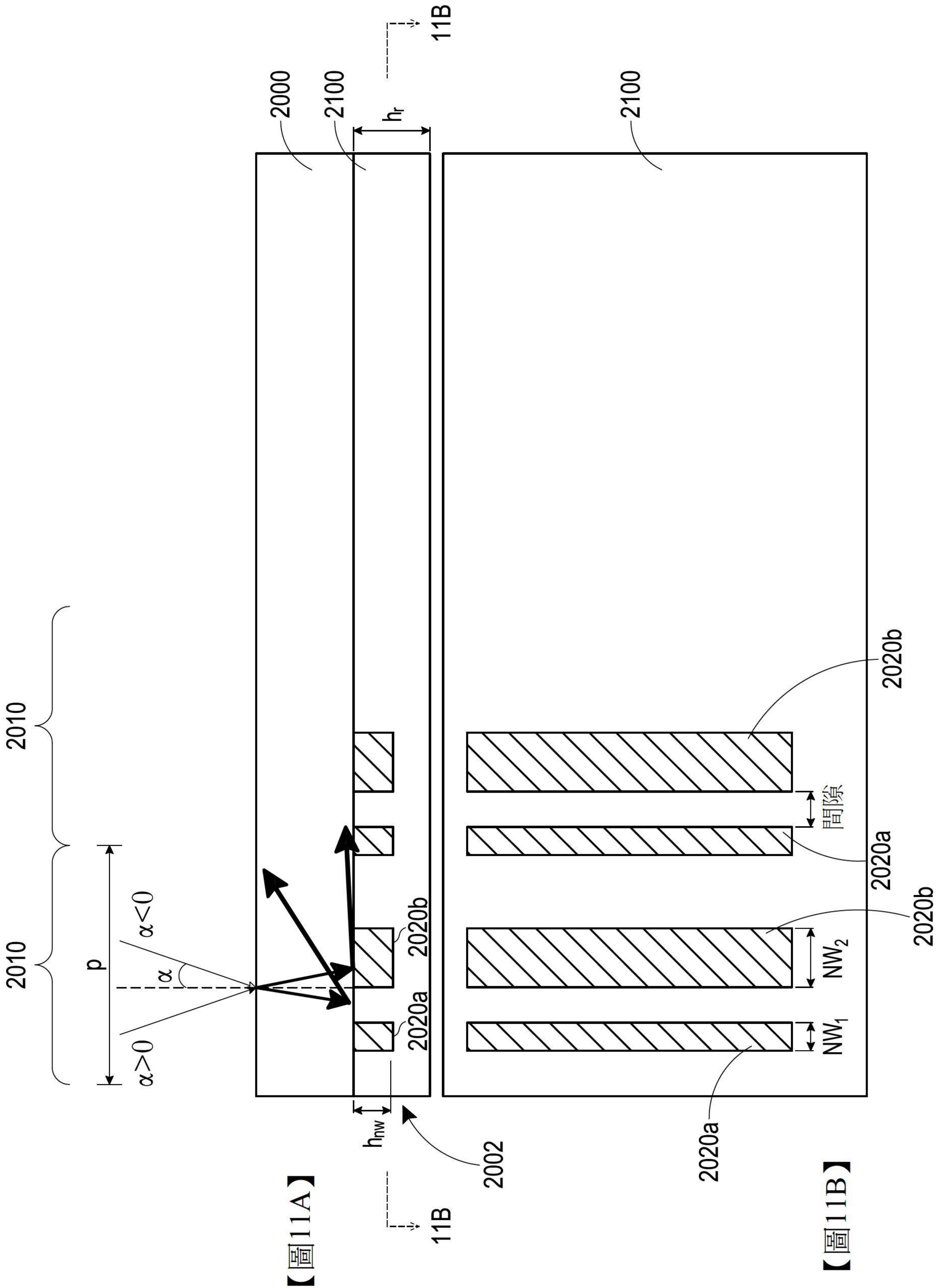
【圖9D】

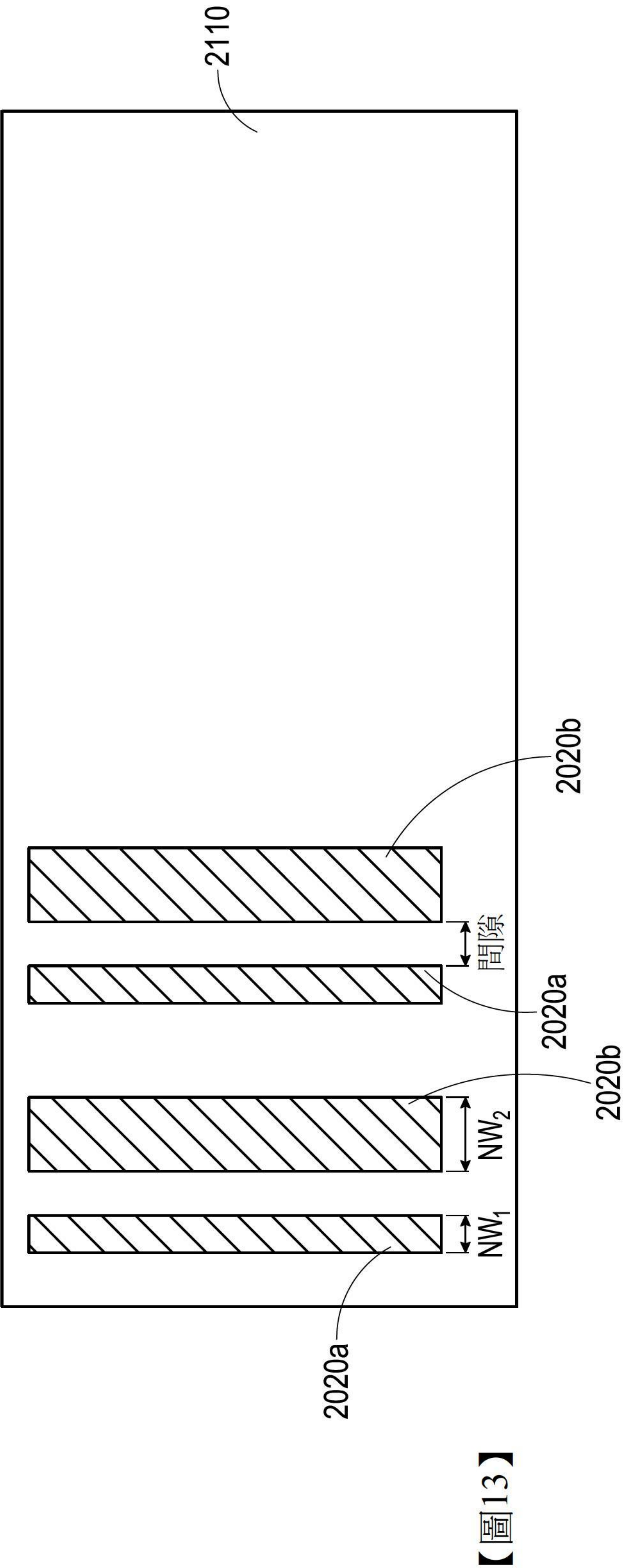
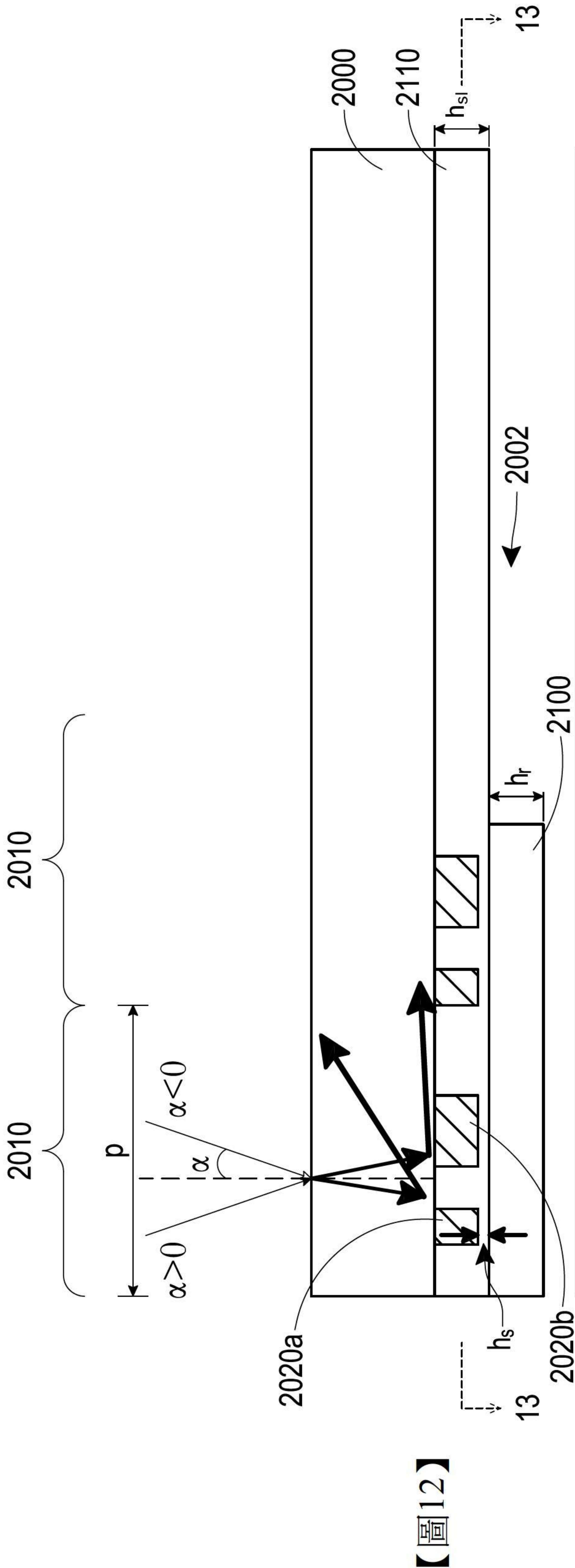


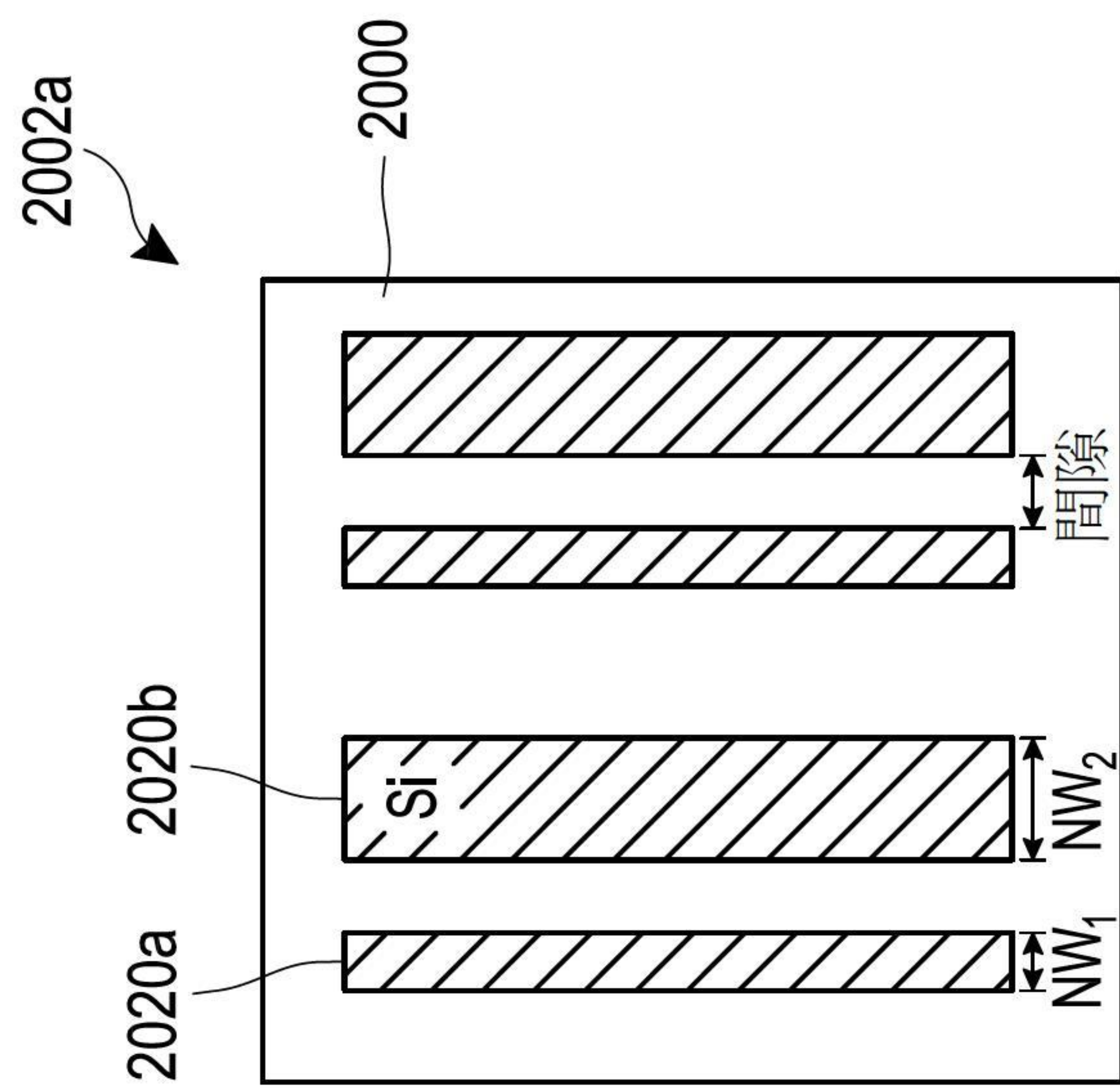
【圖10A】



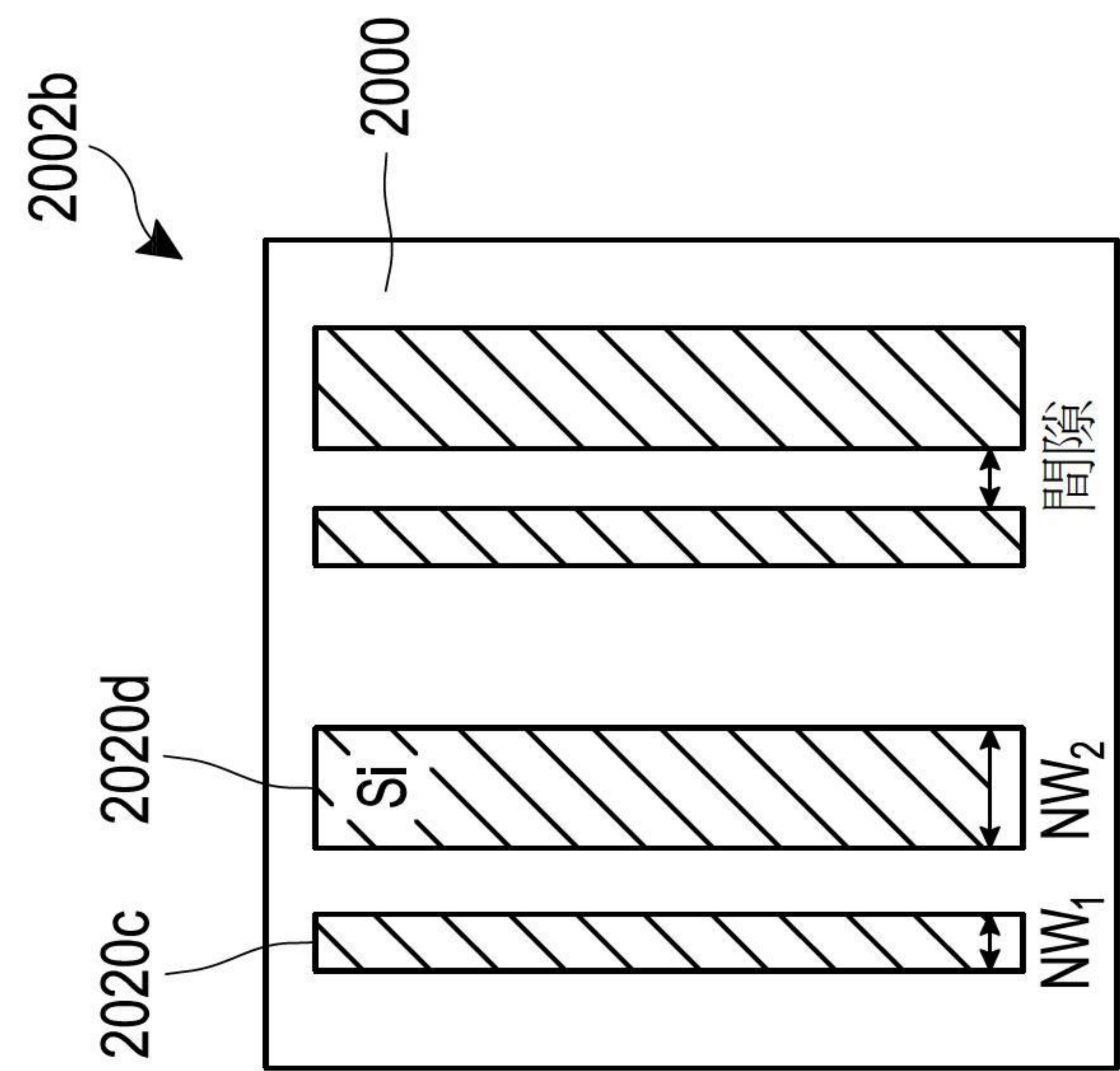
【圖10B】



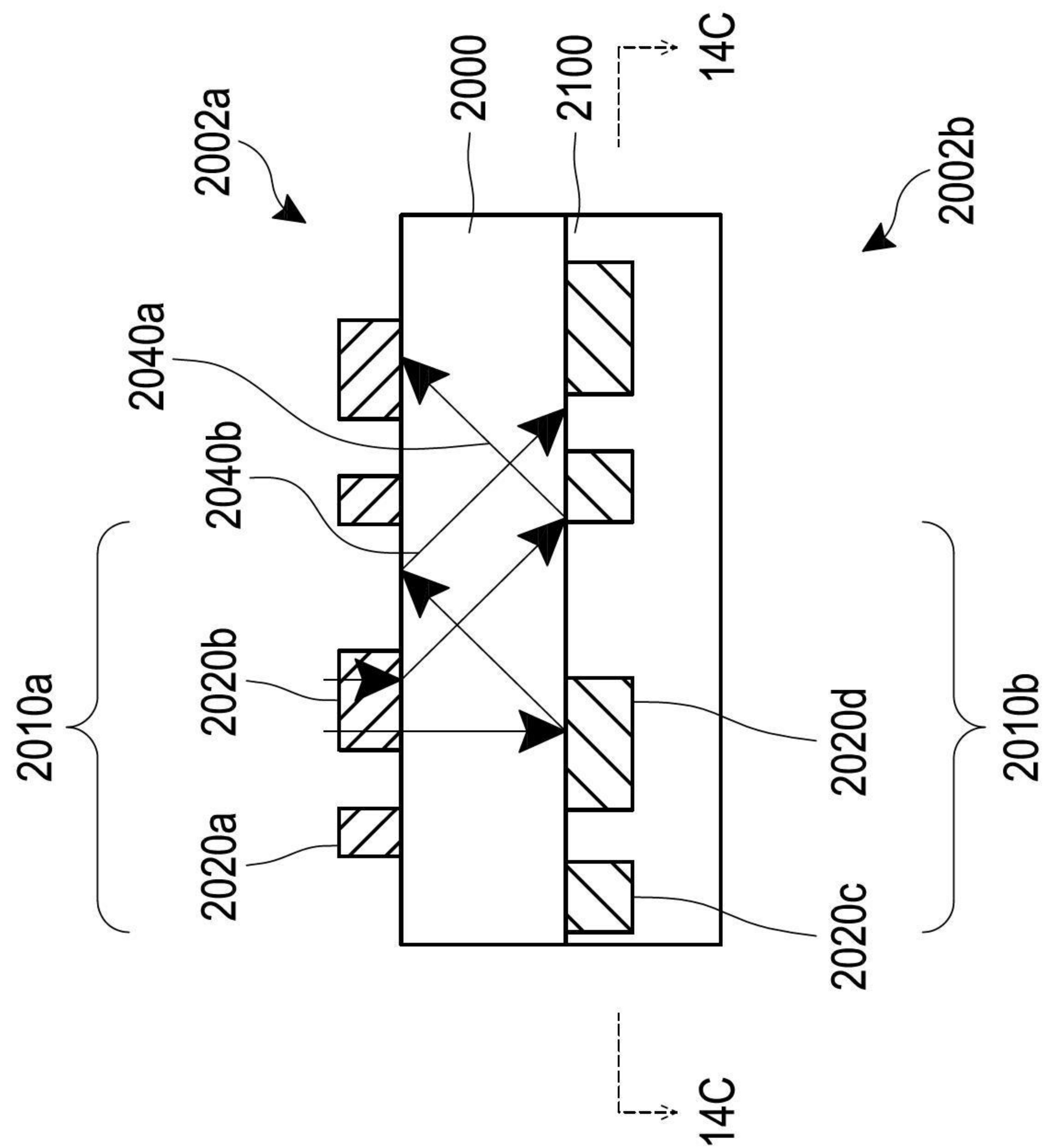




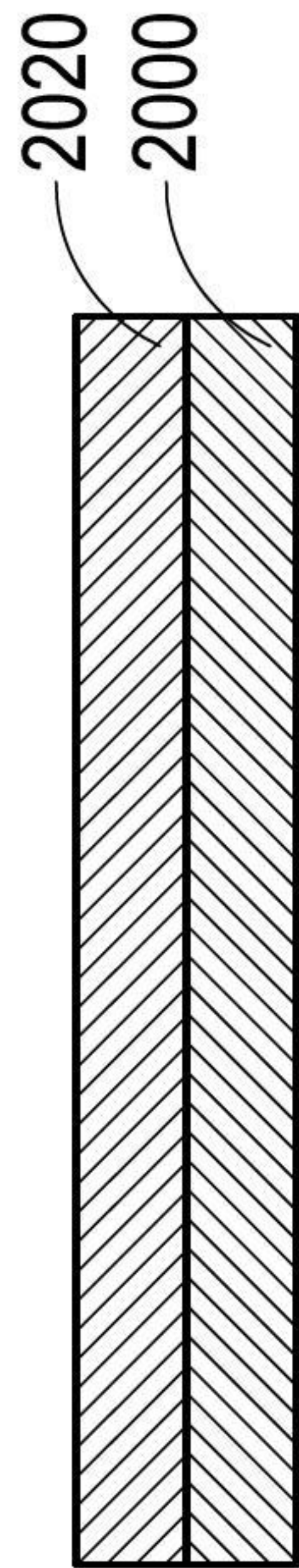
【圖14B】



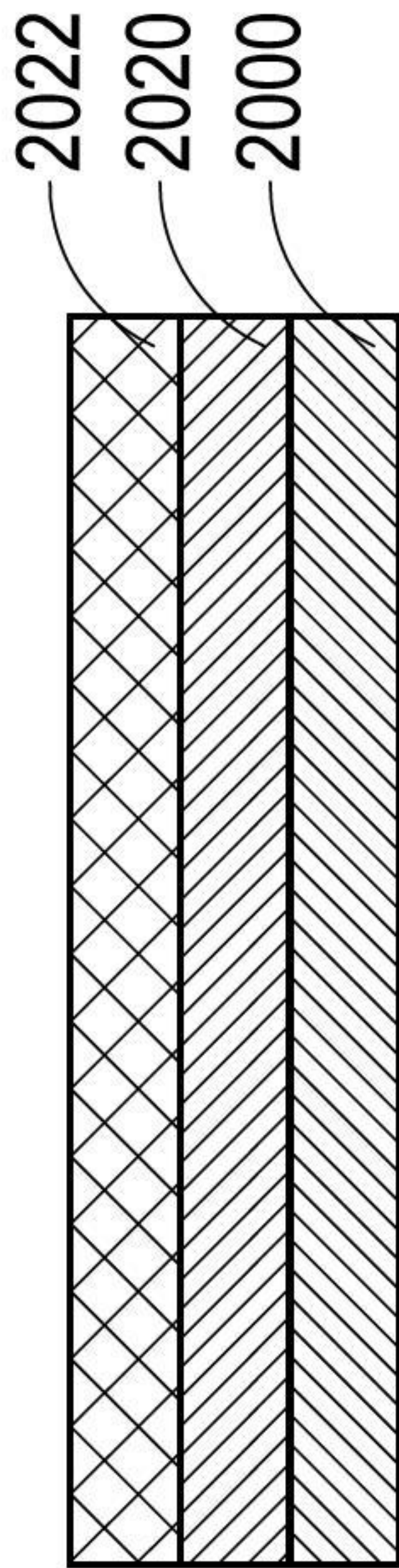
【圖14C】



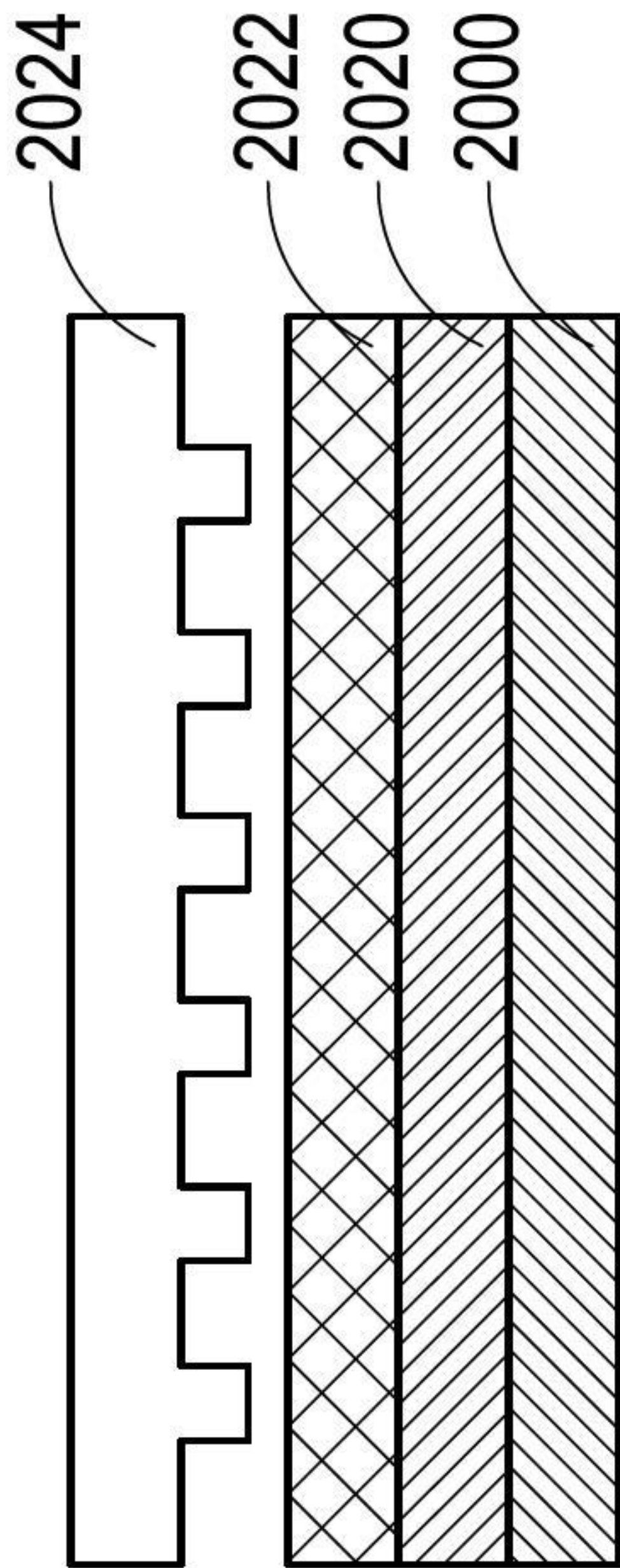
【圖14A】



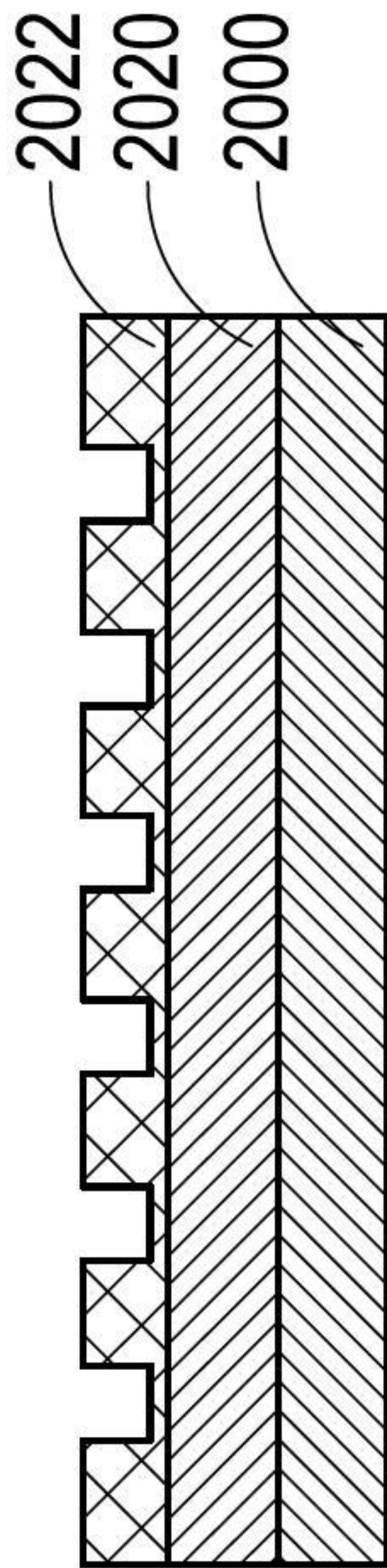
【圖15A】



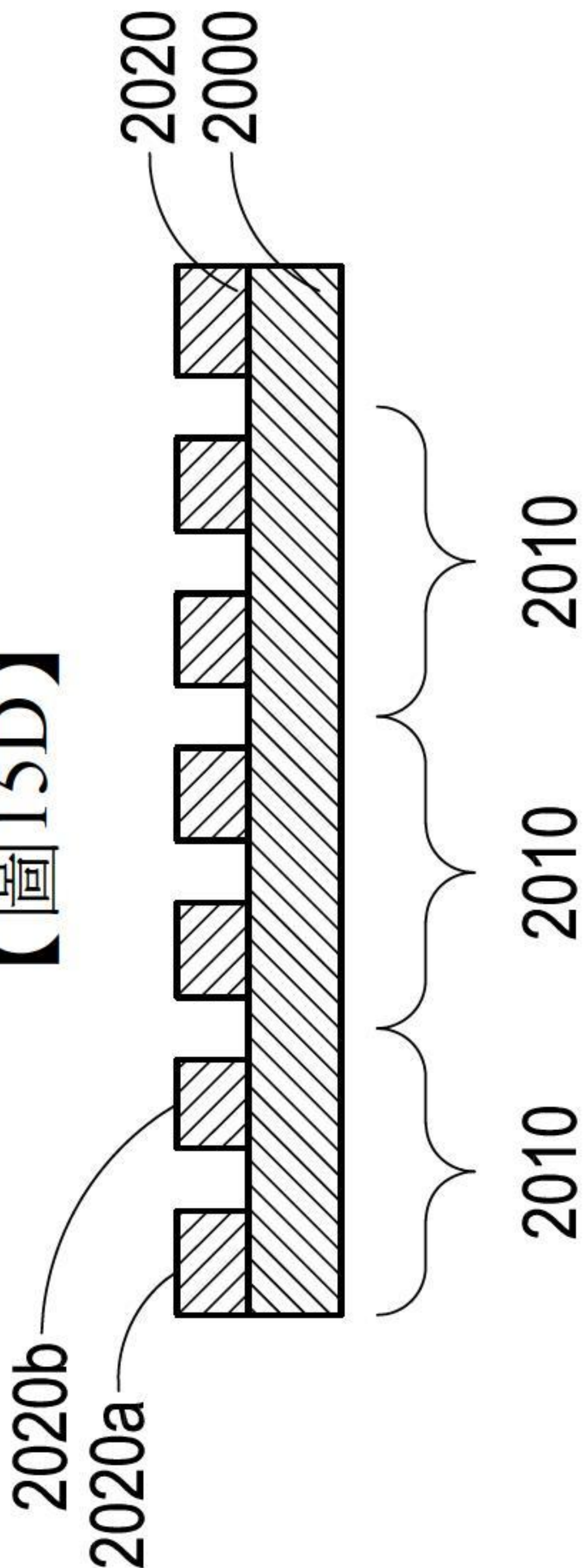
【圖15B】



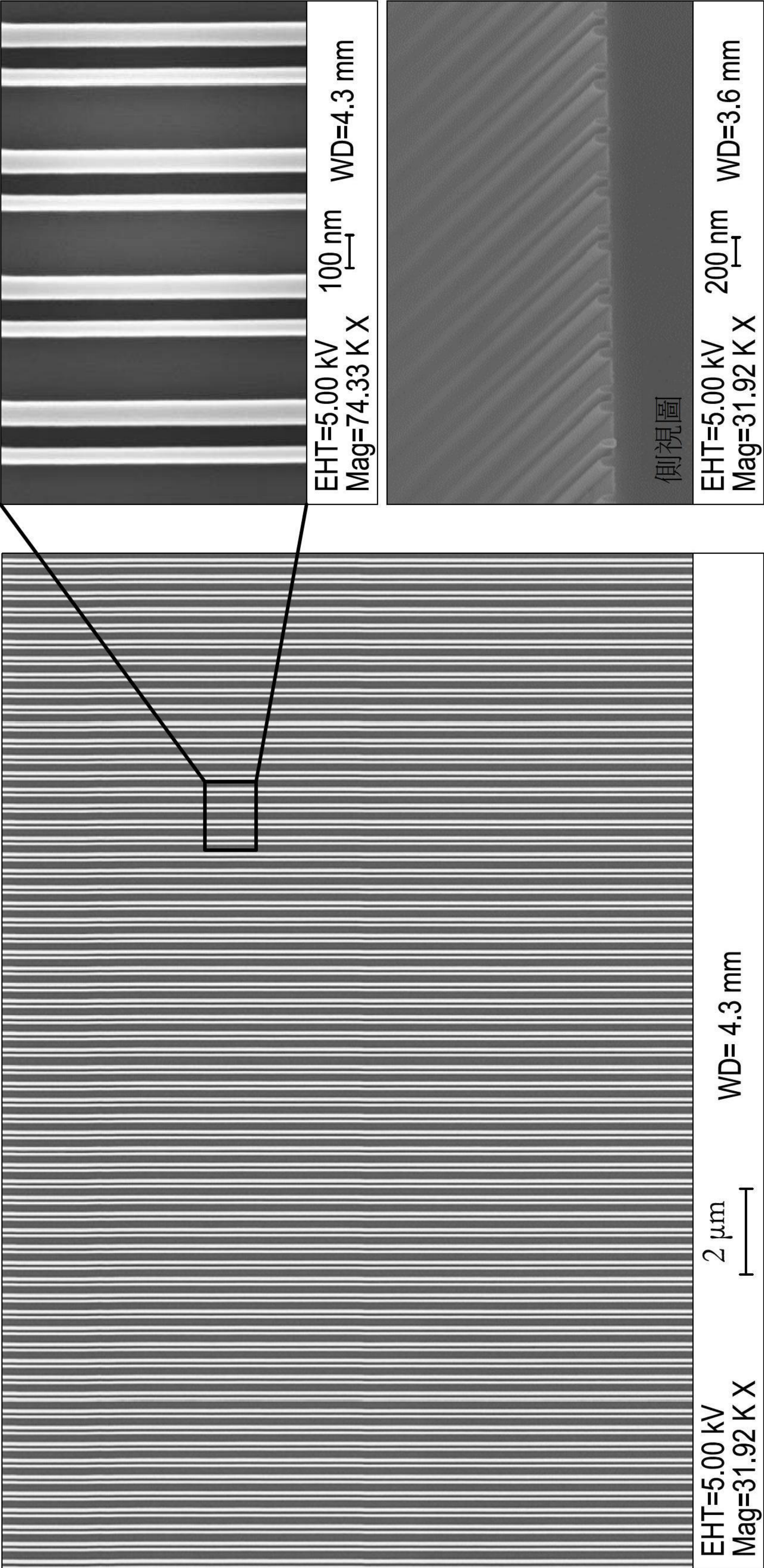
【圖15C】



【圖15D】



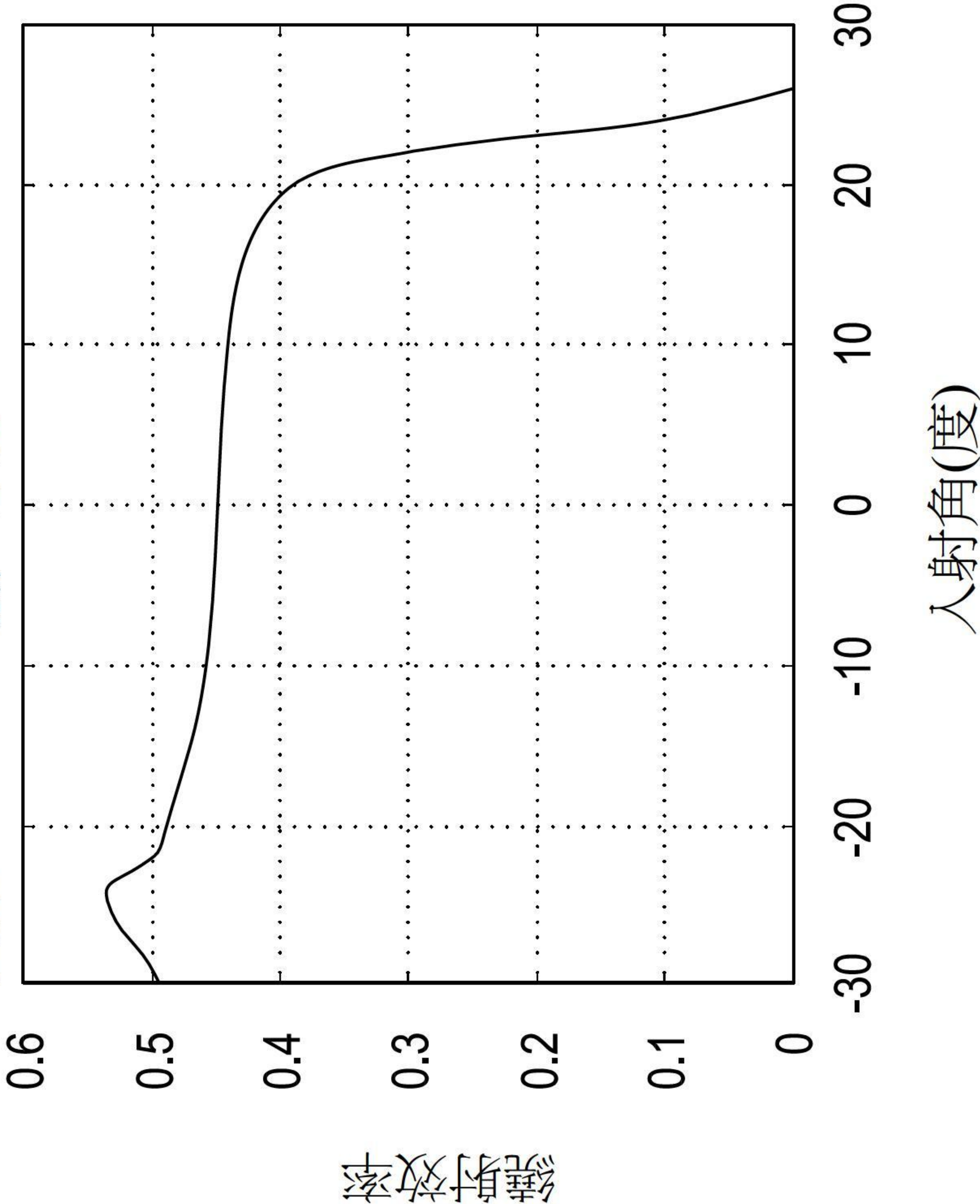
【圖15E】



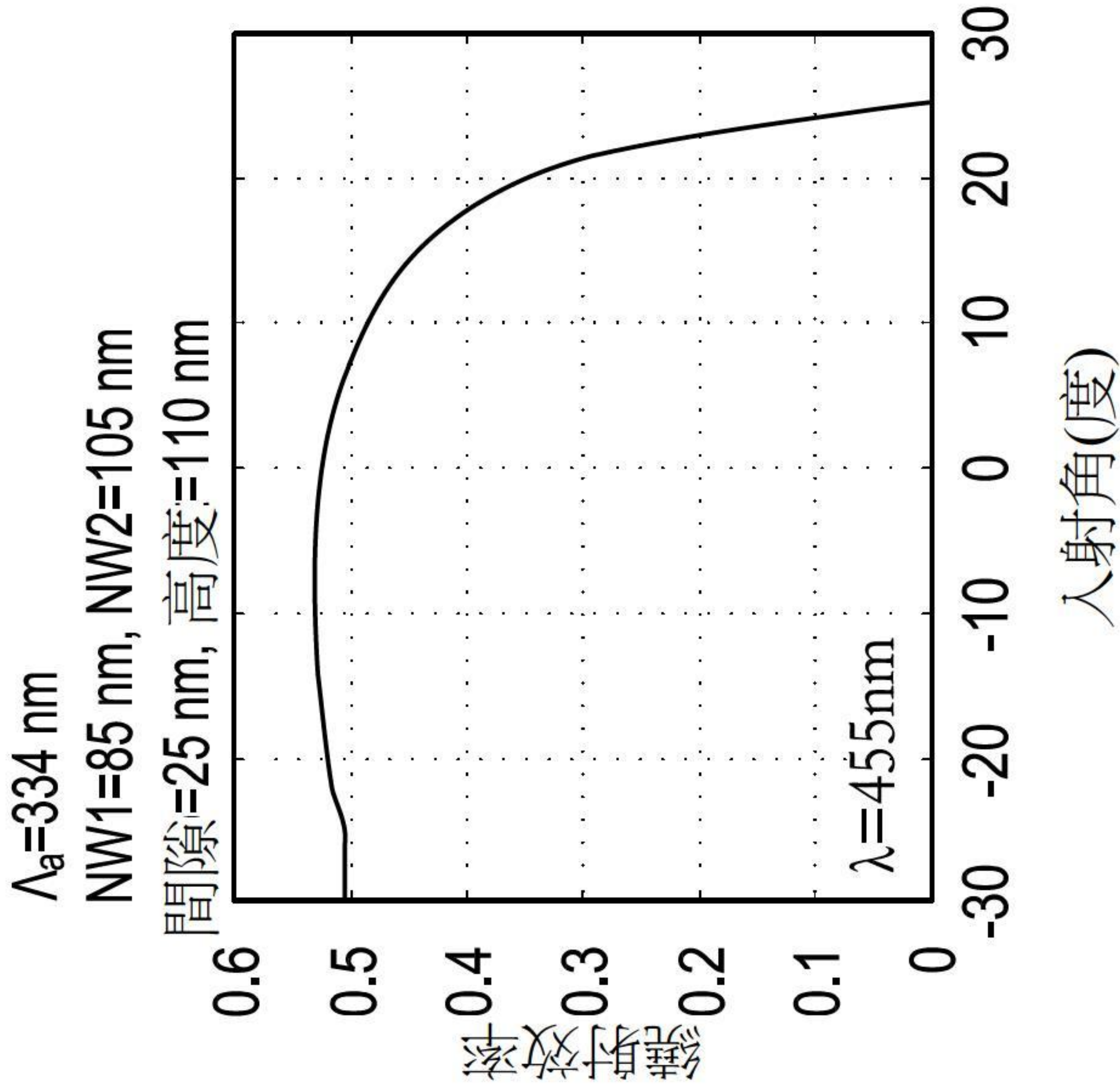
【圖16B】

【圖16A】

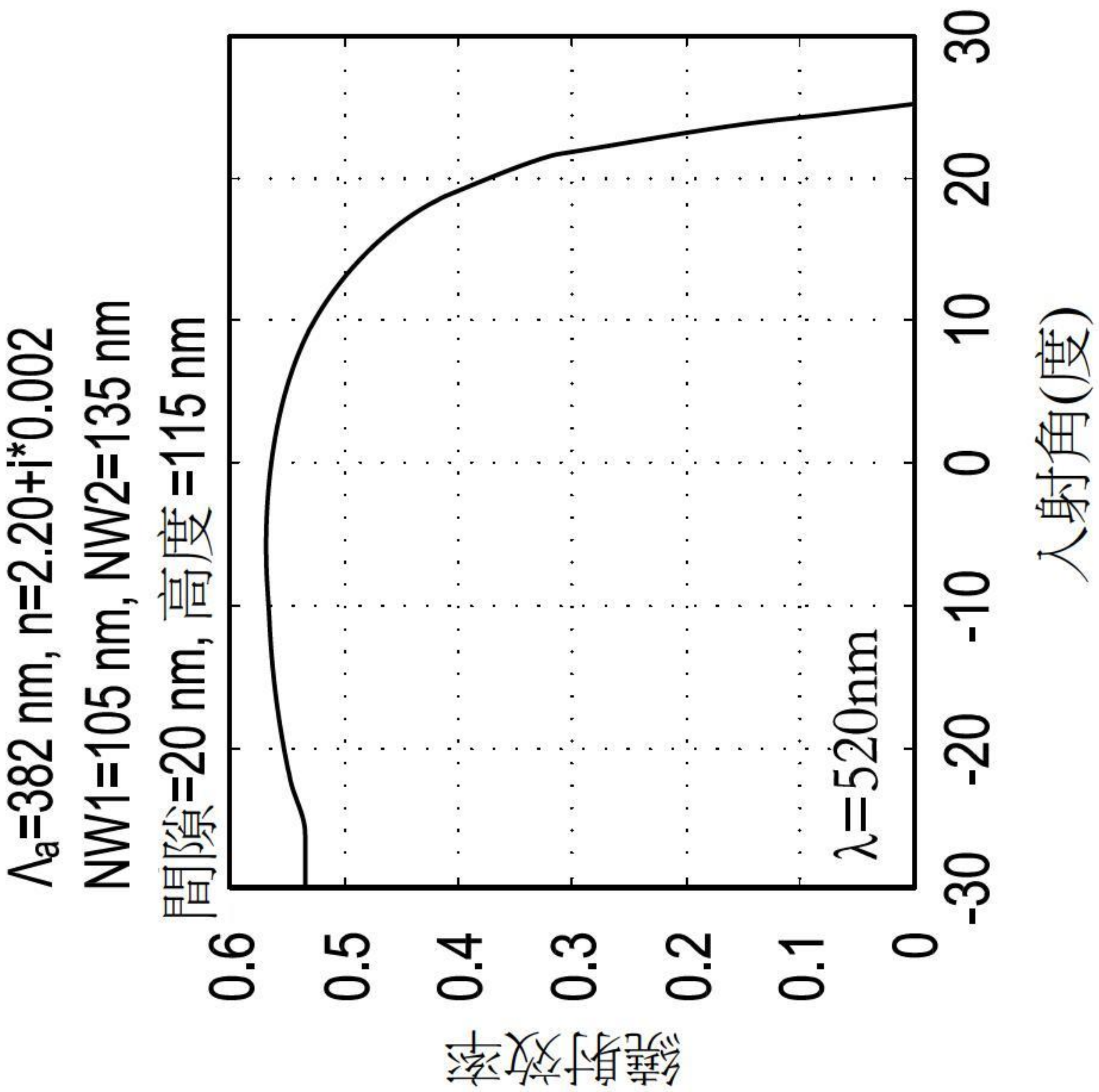
Poly-Si, $n=4.41 + i*0.182$, 45% @0°
NW1=30 nm, NW2=66 nm
間隙=76 nm , h_{nw} =厚度=80 nm



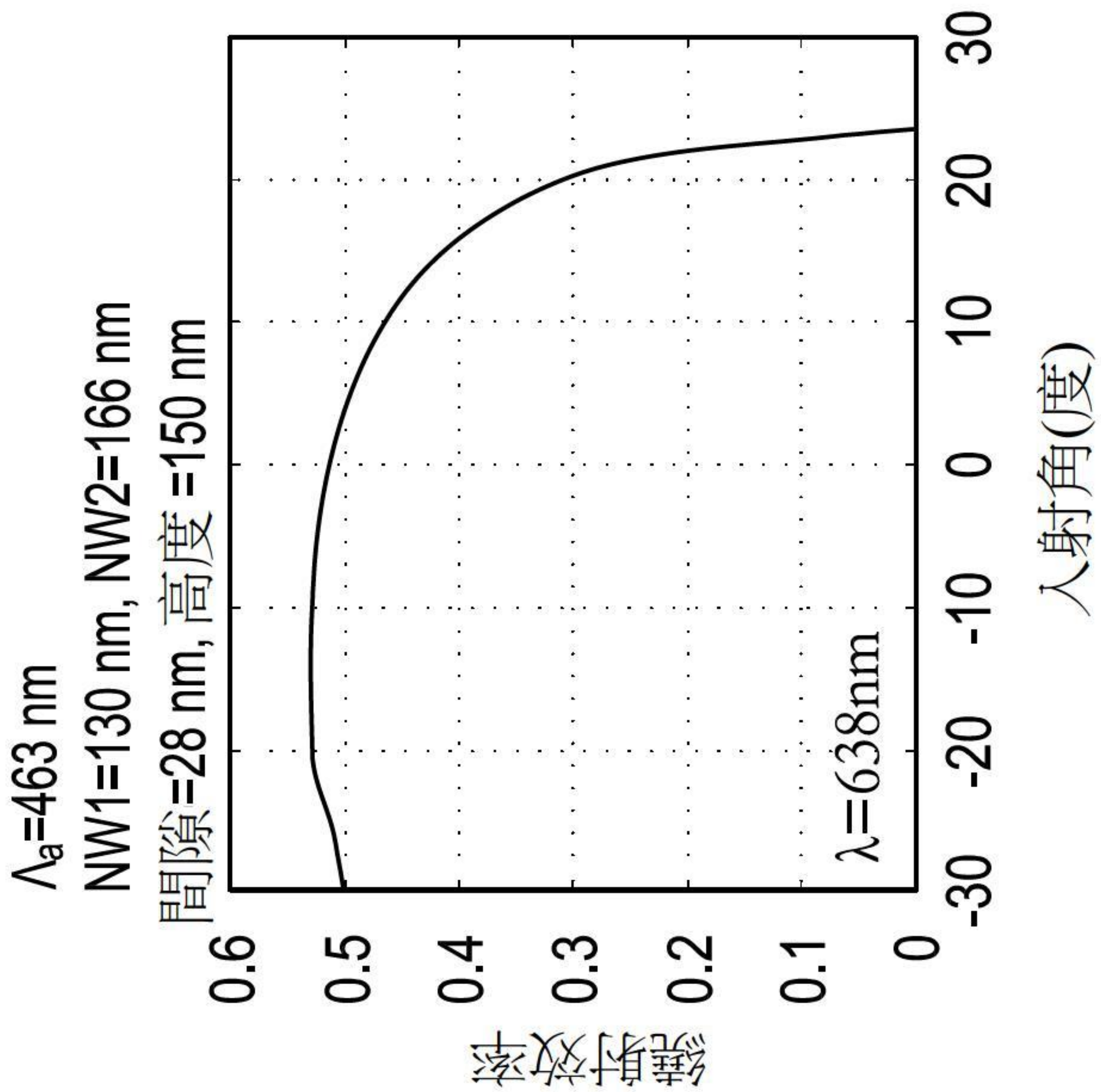
【圖17】



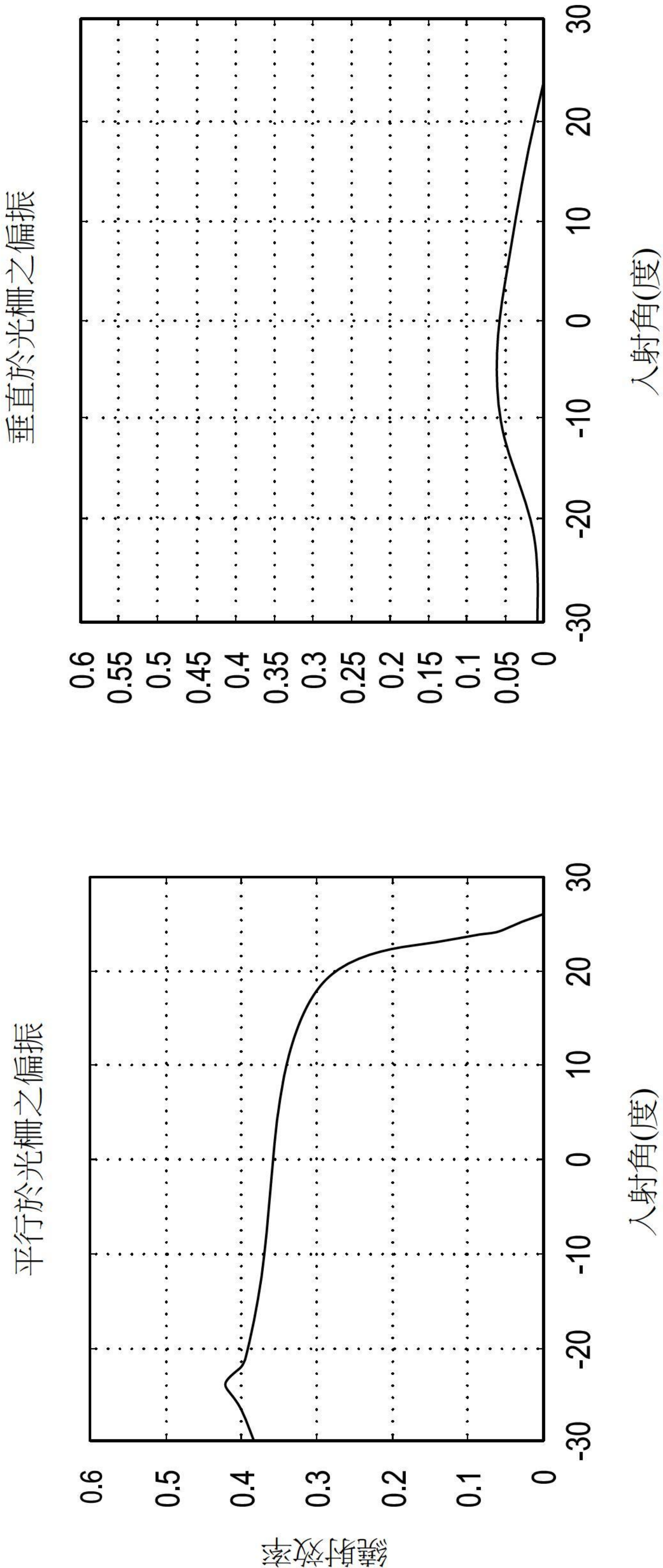
【圖18A】



【圖18B】

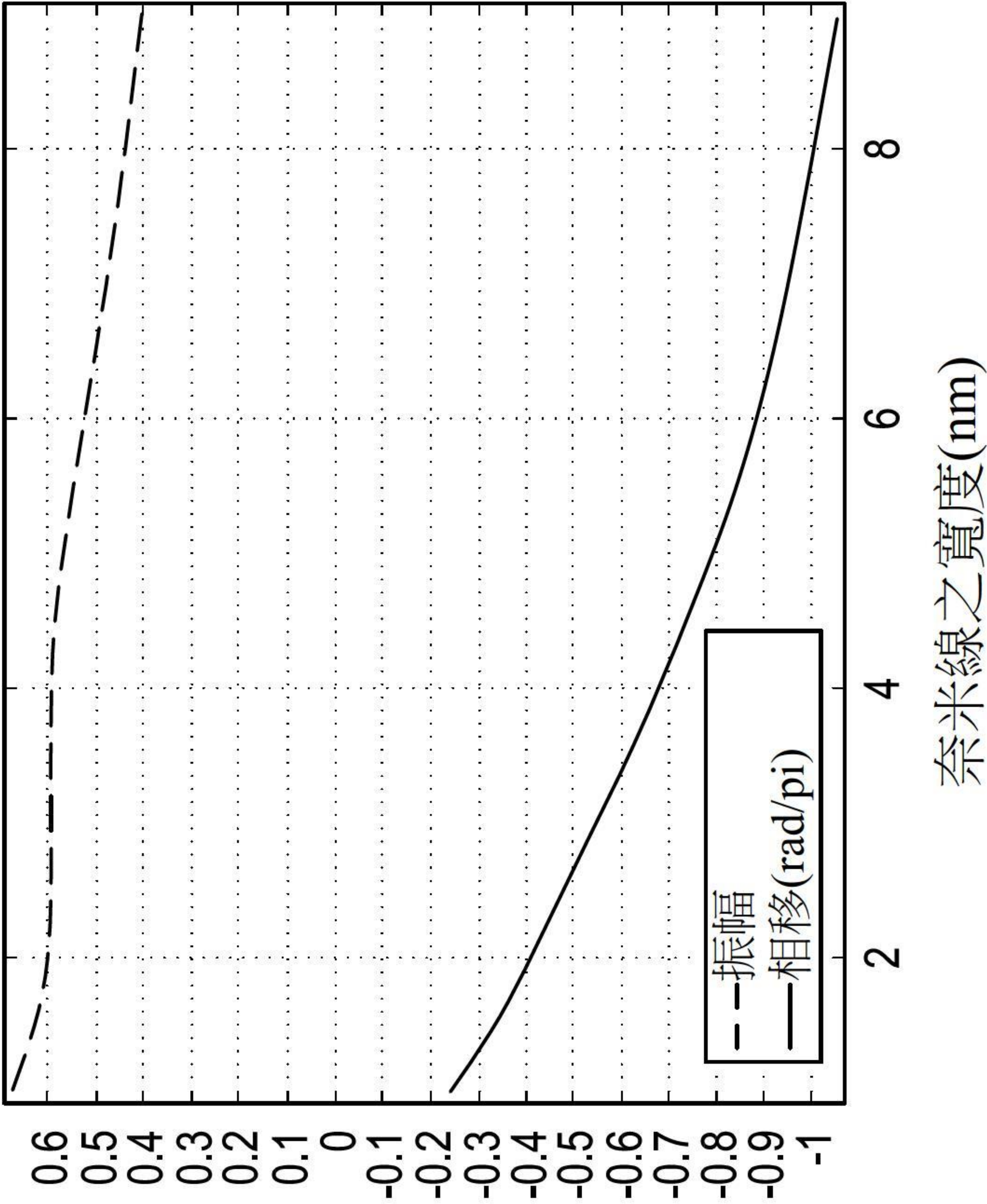


【圖18C】

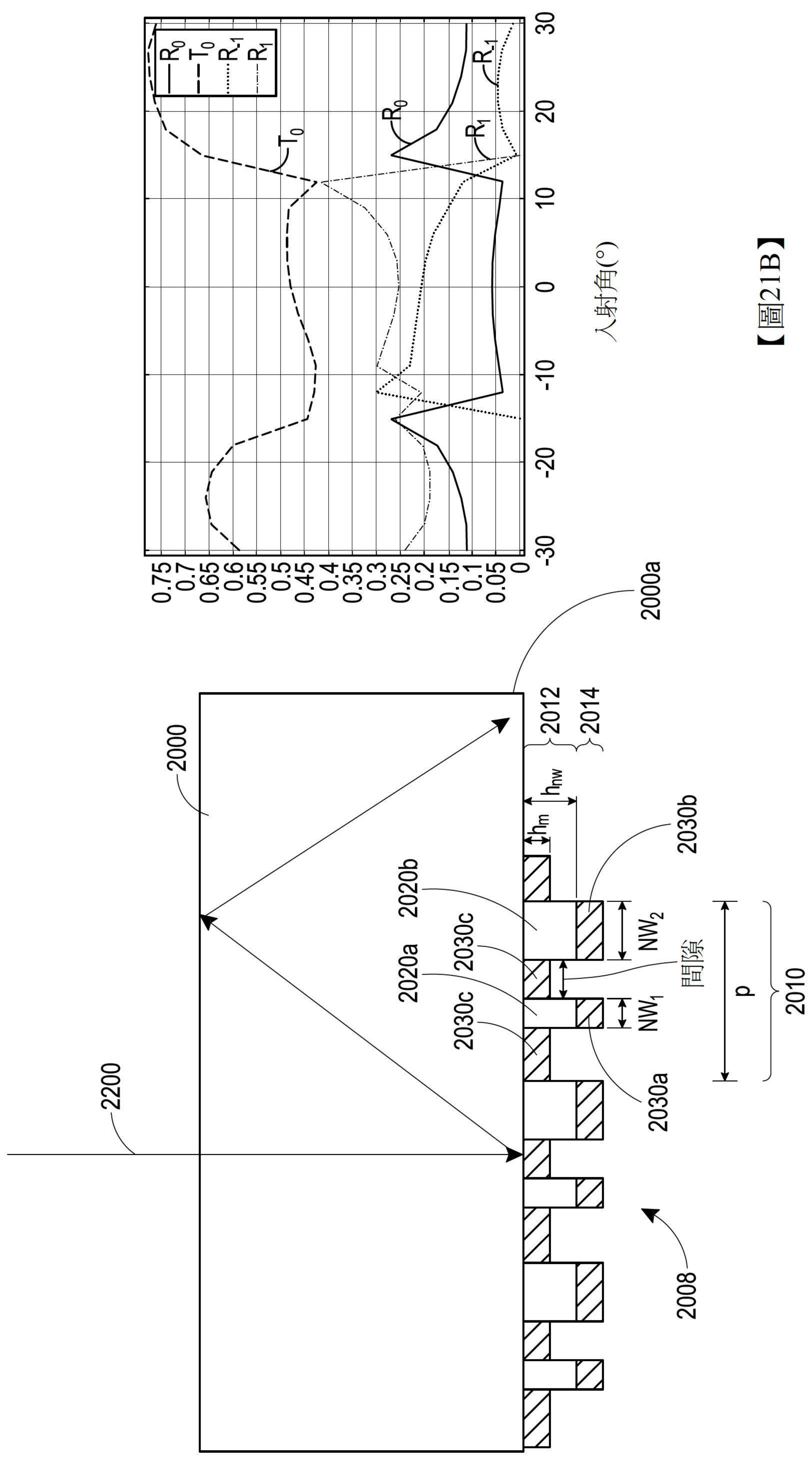


【圖19B】

【圖19A】

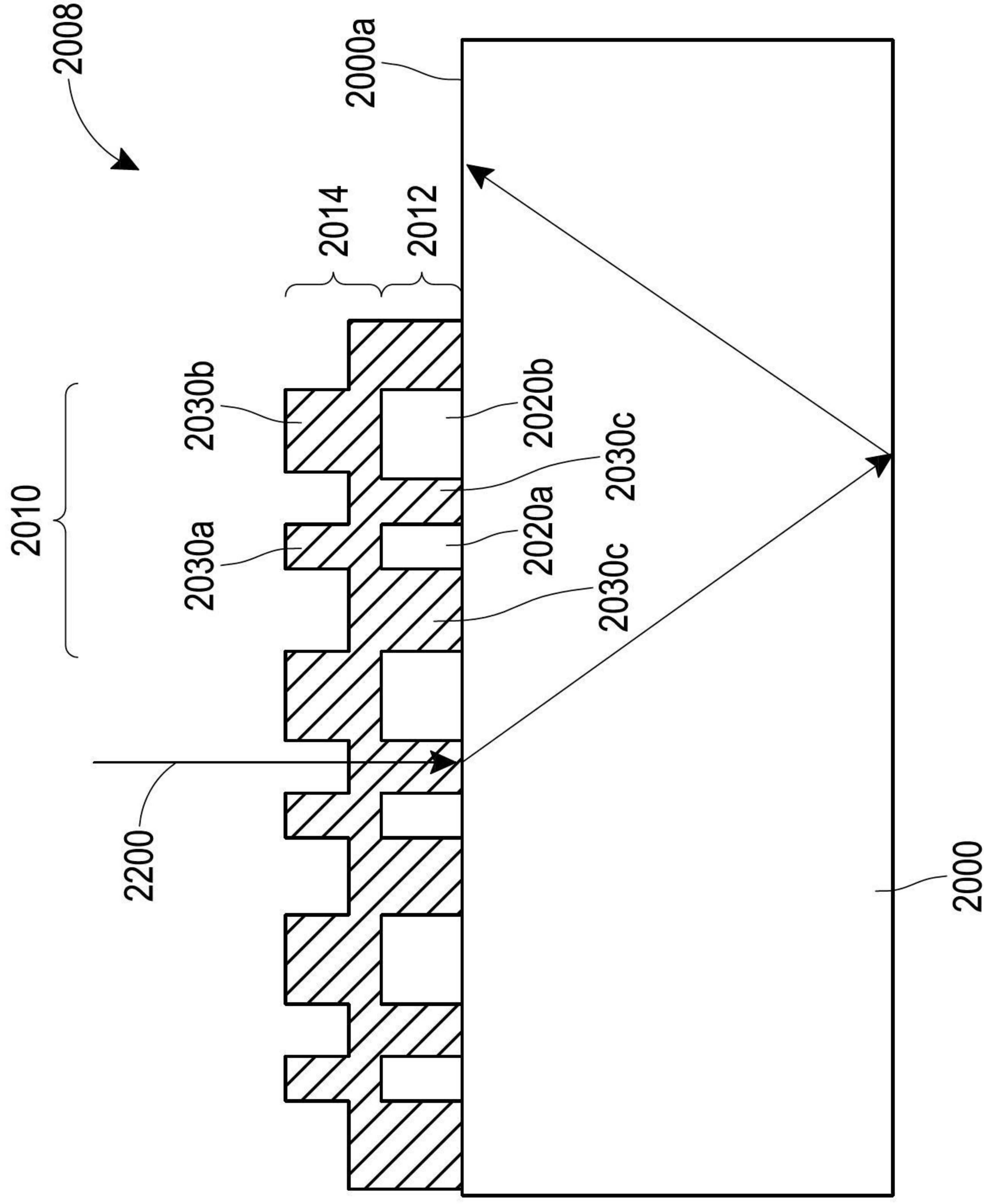


【圖20】

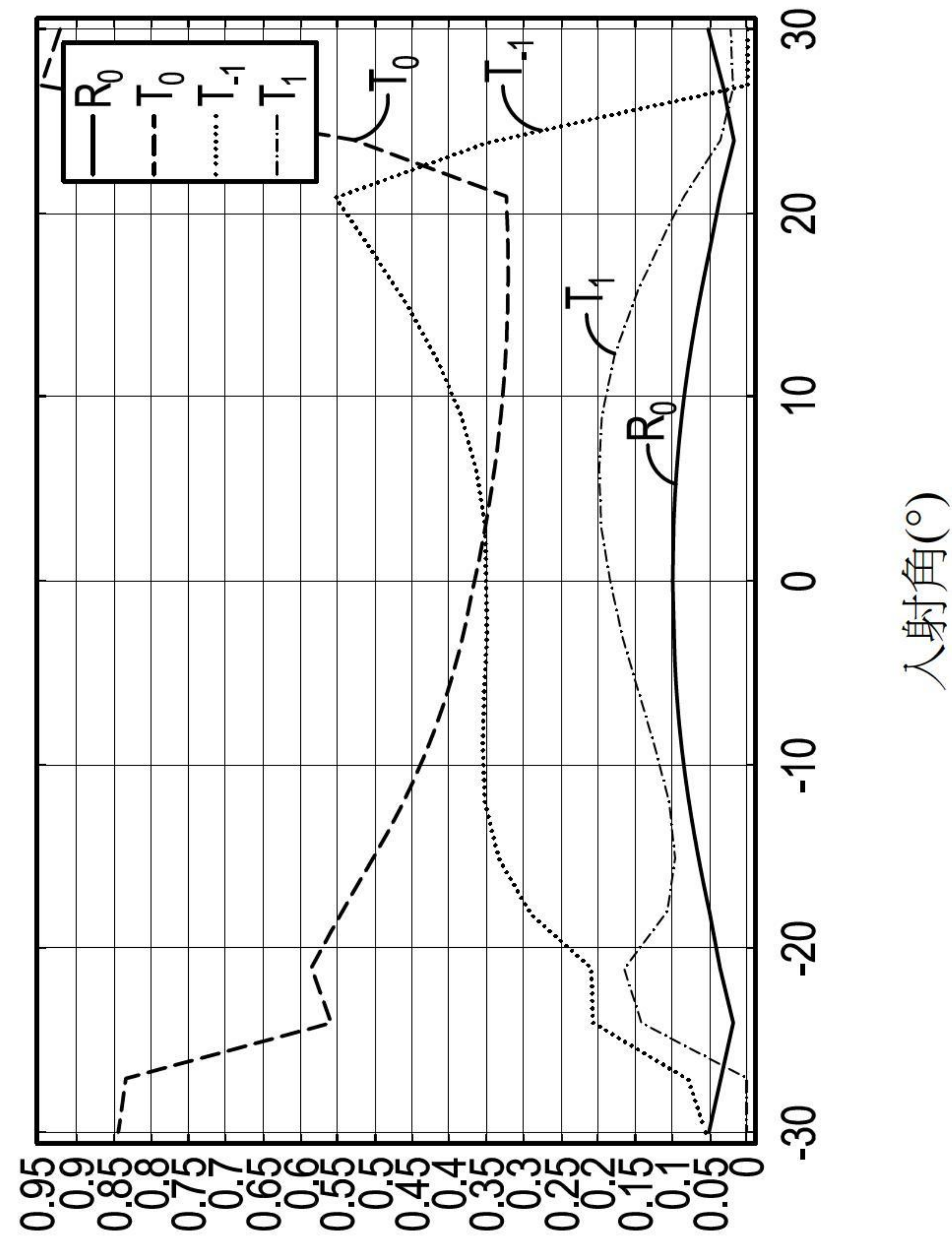


【圖21A】

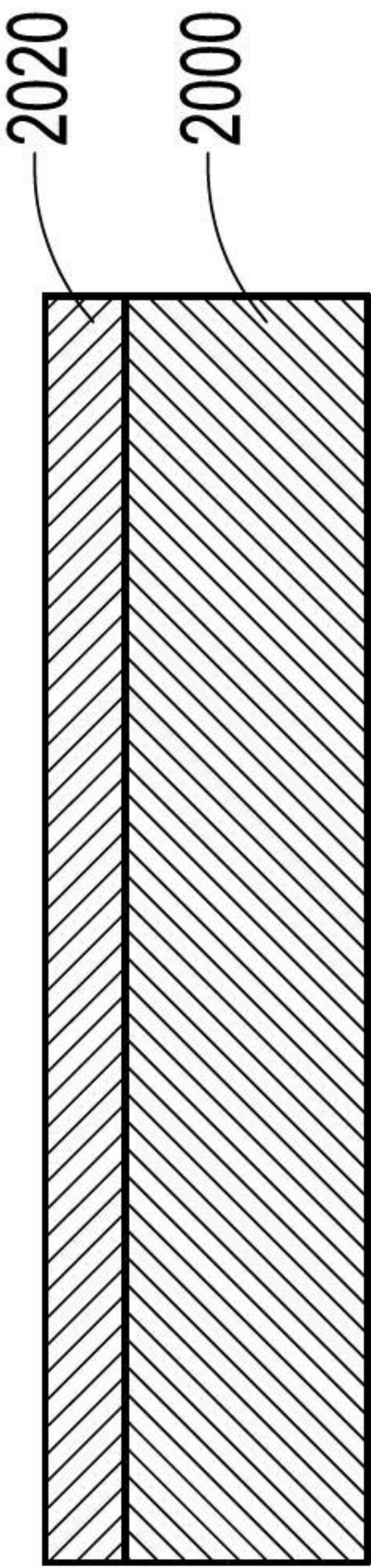
【圖21B】



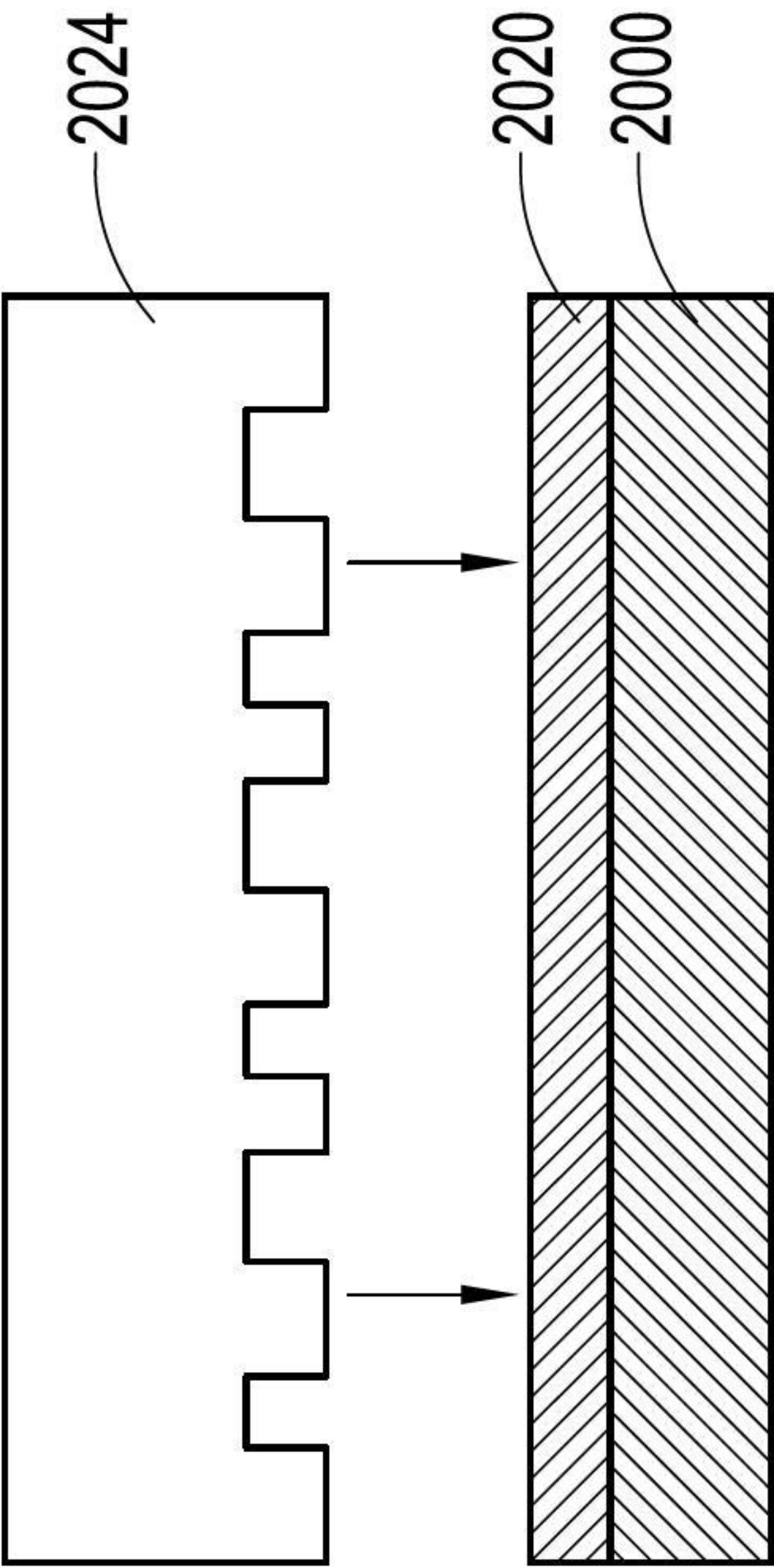
【圖22A】



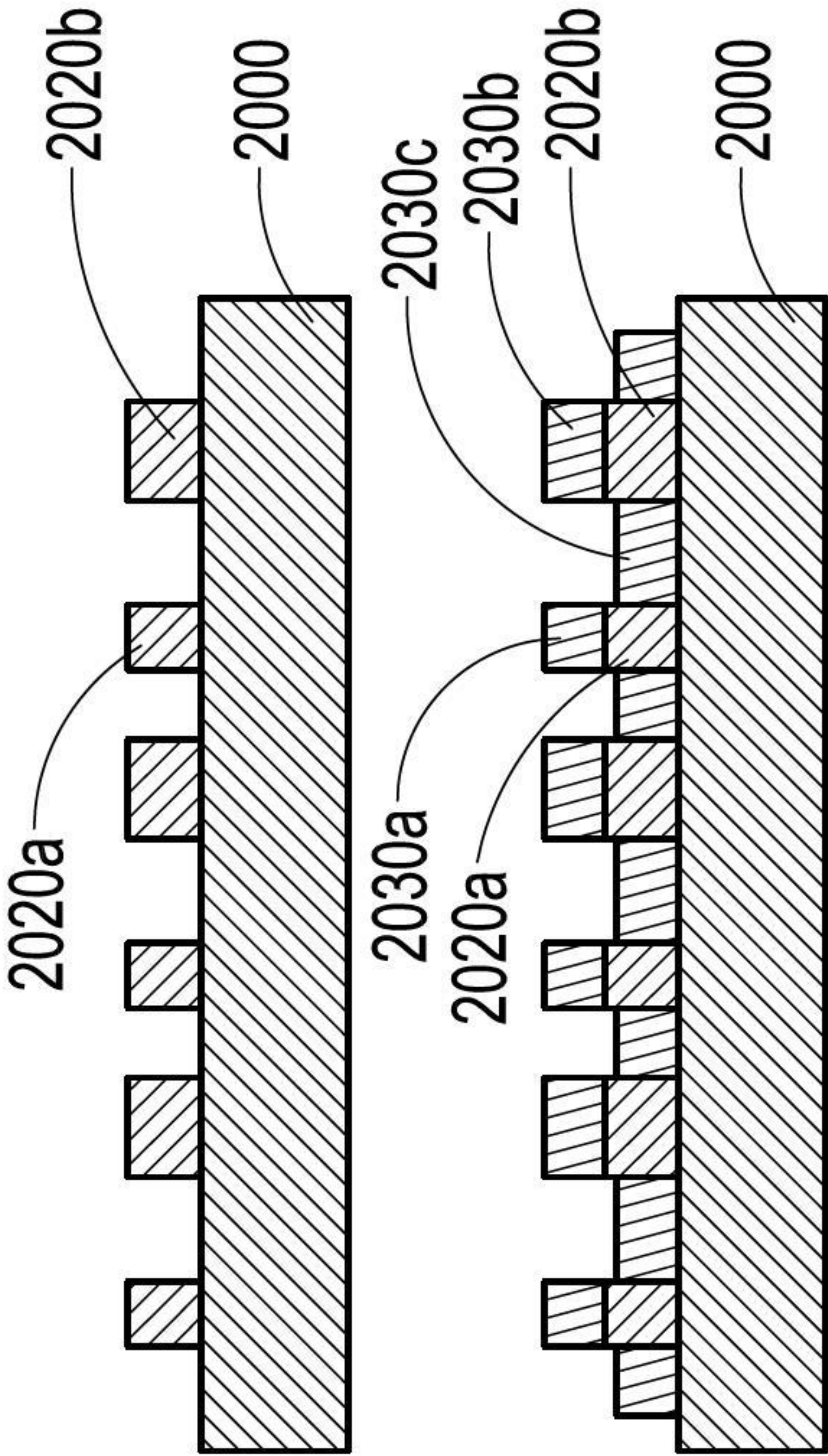
【圖22B】



【圖23A】



【圖23B】



【圖23C】

【圖23D】