



(21) 申請案號：109146500 (22) 申請日：中華民國 109 (2020) 年 12 月 28 日

(51) Int. Cl. : *G01B11/02 (2006.01)* *G01N21/17 (2006.01)*
G01N21/55 (2014.01) *G01N29/44 (2006.01)*
G01N29/46 (2006.01) *H01L21/66 (2006.01)*

(30) 優先權：2019/12/26 美國 62/953,640

(71) 申請人：以色列商諾威量測設備股份有限公司 (以色列) NOVA MEASURING INSTRUMENTS LTD. (IL)
 以色列

(72) 發明人：奧倫 由納坦 OREN, YONATAN (IL)；布拉克 吉列德 BARAK, GILAD (IL)

(74) 代理人：張耀暉；王奕軒；莊志強

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：19 項 圖式數：7 共 34 頁

(54) 名稱

光學臨界尺寸與光反射組合裝置、系統及方法

(57) 摘要

本發明揭露用於改進目標樣本光學屬性測量性能的 OCD 與光反射組合系統和方法。該系統包括 (a) 單通道 OCD 設置，由配置在與目標樣本垂直/傾斜方向上的單一探測光束構成，或多通道 OCD 設置，具有多個探測光束配置在目標樣本的垂直和傾斜方向上，用於測量目標樣本的光學屬性，(b) 至少一個雷射源，用於產生至少一個雷射光束，(c) 至少一個調製設備，將至少一個雷射光束轉換成為至少一個交替調製雷射光束，和 (d) 至少一個光譜儀，用於測量從目標樣本反射出的至少一個光束的光譜成分；至少一個交替調製雷射光束交替調製目標樣本的光譜反射率。

A combined OCD and photoreflectance system and method for improving the OCD performance in measurements of optical properties of a target sample. The system comprises (a) either a single channel OCD set-up comprised of a single probe beam configured in a direction normal/oblique to the target sample or a multi-channel OCD set-up having multiple probe beams configured in normal and oblique directions to the target sample for measuring the optical properties of the target sample, (b) at least one laser source for producing at least one laser beam, (c) at least one modulation device to turn the at least one laser beam into at least one alternately modulated laser beam, and (d) at least one spectrometer for measuring spectral components of the at least one light beam reflecting off said target sample; wherein the at least one alternately modulated laser beam is alternately modulating the spectral reflectivity of the target sample.

指定代表圖：

符號簡單說明：

400:光反射(PR)光譜

組合裝置

402:探測源

404:探測光束

406:光譜儀

407:目標樣本

408:光學元件

410、412、414、

424、426:鏡頭

418:泵浦雷射器

420:調製器

422:雷射光束

428:調製雷射光束

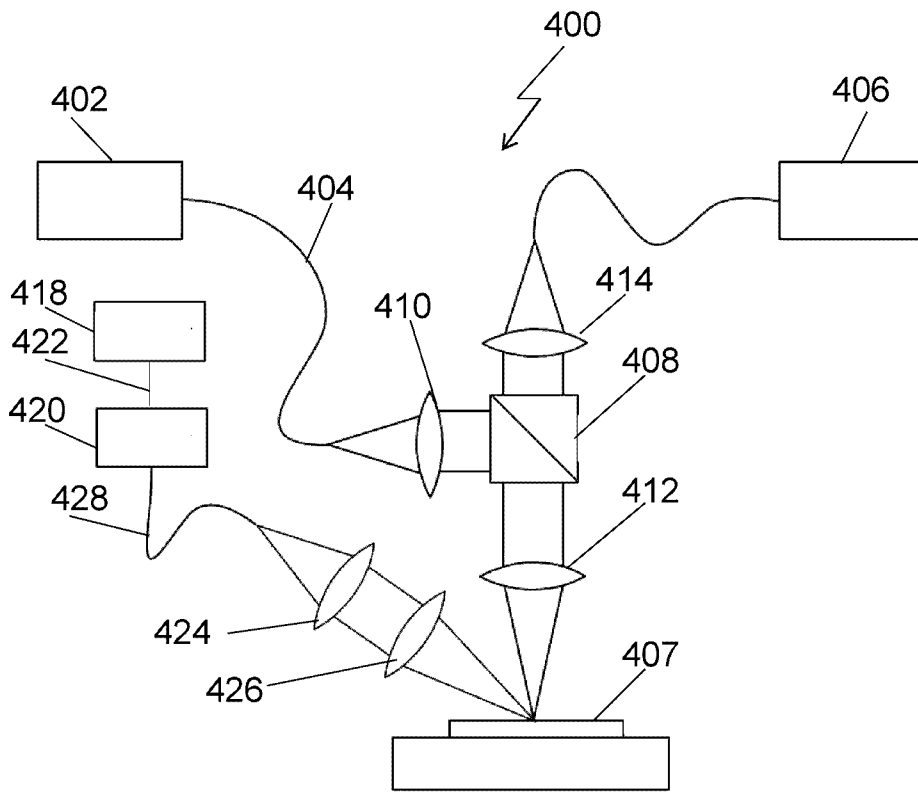


圖4



202138750

【發明摘要】**【中文發明名稱】** 光學臨界尺寸與光反射組合裝置、系統及方法**【英文發明名稱】** COMBINED OCD AND PHOTOREFLECTANCE
APPARATUS, SYSTEM AND METHOD**【中文】**

本發明揭露用於改進目標樣本光學屬性測量性能的OCD與光反射組合系統和方法。該系統包括（a）單通道OCD設置，由配置在與目標樣本垂直/傾斜方向上的單一探測光束構成，或多通道OCD設置，具有多個探測光束配置在目標樣本的垂直和傾斜方向上，用於測量目標樣本的光學屬性，（b）至少一個雷射源，用於產生至少一個雷射光束，（c）至少一個調製設備，將至少一個雷射光束轉換成為至少一個交替調製雷射光束，和（d）至少一個光譜儀，用於測量從目標樣本反射出的至少一個光束的光譜成分；至少一個交替調製雷射光束交替調製目標樣本的光譜反射率。

【英文】

A combined OCD and photoreflectance system and method for improving the OCD performance in measurements of optical properties of a target sample. The system comprises (a) either a single channel OCD set-up comprised of a single probe beam configured in a direction normal/oblique to the target sample or a multi-channel OCD set-up having multiple probe beams configured in normal and oblique directions to the target sample for measuring the optical properties of the target sample, (b) at least one laser source for producing at least one laser beam, (c) at least one modulation device to turn the at least one laser beam into at least one alternately modulated laser beam, and (d) at least one spectrometer for measuring spectral components of the at least one light beam reflecting off said target sample; wherein the at least one alternately modulated laser beam is alternately modulating the spectral reflectivity of the target sample.

【指定代表圖】圖4。

【代表圖之符號簡單說明】

- 400：光反射（PR）光譜組合裝置
- 402：探測源
- 404：探測光束
- 406：光譜儀
- 407：目標樣本
- 408：光學元件
- 410、412、414、424、426：鏡頭
- 418：泵浦雷射器
- 420：調製器
- 422：雷射光束
- 428：調製雷射光束

【特徵化學式】

無。

【發明說明書】

【中文發明名稱】光學臨界尺寸與光反射組合裝置、系統及方法

【英文發明名稱】COMBINED OCD AND PHOTOREFLECTANCE
APPARATUS, SYSTEM AND METHOD

【技術領域】

【0001】本發明關於半導體測量技術。更具體地，本發明關於用於通過光學方法測量設備臨界尺寸的半導體計量技術。

【先前技術】

【0002】光學臨界尺寸（OCD）是半導體計量技術的子集，用於通過光學光譜方法（最常見的是光譜橢偏法或光譜反射法）線上測量設備臨界尺寸。

【0003】由於半導體設備的相關尺寸遠小於紫外-可見光的衍射極限，光學顯微鏡不能直接測量半導體設備的相關尺寸。相反，OCD是基於模型的技術，以下列方式工作：

- 測量待分析結構的光譜（較佳地以多個入射角度、偏振等）；
- 以充分的自由度構建參數化的幾何模型，以精密地表示所述結構；
- 使用詳細的電磁類比計算基於所述模型的理論光譜；以及
- 模型參數被反覆運算更改直到得到理論光譜與測量光譜之間的最佳匹配。

【0004】OCD憑藉其優於其它技術的優點，多年以來一直是半導體生產的線上計量的主力技術，因為OCD快速、無損、非接觸並且不需要真空或樣本的其它特殊處理。然而，該技術的主要缺點在於非直接特性，結果可以受到模型逼真度的不確定性、計算誤差、光學系統參數以及材料光學屬性的影響。部分這些影響可以通過硬體和軟體的改進來減輕，但其它部分影響是更根本的。

【0005】來自模型參數的理論光譜計算通常通過標準電磁建模引擎完成（如嚴格耦合波分析）。然而，解釋測量到的資料來推導基本結構參數的過程是高度挑戰性的。其最終性能（精度、準確度）由針對待測的尺寸參數和不同參數

變數的光譜衝擊之間的相關性所決定。具有弱光譜效應的參數，或者此效應與其它參數的變數導致的變化高度相似的參數，將受到較差的解釋性能的影響。

【0006】 這樣的問題致使OCD越來越嚴重地受先進半導體技術節點上遇到的更小的尺寸減小以及更高的幾何與材料複雜性的直接影響。

【0007】 一類這樣的問題與光學對比度相關，結構的臨近部分由不同但光學相似的材料製成。作為例子，考慮例如矽上低鍍濃度的矽鍍薄膜。這兩種材料可以具有非常不同的物理（例如電氣）屬性，而同時具有非常相似的光電容率。那麼光譜對薄膜厚度的靈敏度將會較差，本質上將兩種材料看作是相同的。

【0008】 作為另一個非常常見的例子，我們需要沉積在一些複雜結構上的超薄薄膜的特性。通常極難從其它尺寸參數（顯著更強）的影響中，將對此層的弱光譜靈敏度分離出來。

【0009】 因此，本發明的目的是提供一種用於線上測量設備臨界尺寸的系統和方法。一種適用於在先進半導體技術節點上遇到的更小的尺寸和更高的幾何與材料複雜性的系統和方法。

【發明內容】

【0010】 本發明提供了一種用於改進挑戰性應用中的OCD性能的系統和方法。更具體的，本發明提供了一種適用於線上測量設備臨界尺寸的系統和方法，以及一種適用於在先進半導體技術節點上遇到的更小的尺寸和更高的幾何與材料複雜性的OCD與光反射（PR）組合系統和方法。

【0011】 根據本發明的一些實施方式，光反射（PR）光譜提供獨特的方式來選擇性地改變對不同材料的靈敏度，這樣突出一些參數或切斷參數之間的相關性。就此原因是雙重的：

-PR回應強烈依賴於材料。對於給定的泵浦波長，一些材料將經受PR而其它材料將完全不受影響。

-半導體的PR譜通常在頻率上高度局部化，在能帶結構臨界點能量上具有尖

銳特徵。這還可以幫助與不同材料的貢獻解耦。

【0012】 根據本發明的一些實施方式，因此提供OCD與光反射組合裝置，用於改進目標樣本光學屬性測量的OCD性能。該OCD與光反射組合裝置包括：

(a) 單通道OCD設置，其由在垂直於/傾斜於目標樣本方向配置的單一探測光束構成，或者多通道OCD設置，其具有多個探測光束配置在目標樣本的垂直和傾斜方向上，用於在所述垂直方向和/或所述傾斜方向上測量目標樣本的光學屬性；

(b) 至少一個雷射源，用於產生至少一個雷射光束；

(c) 至少一個調製設備，將至少一個雷射光束轉換成為至少一個交替調製雷射光束，從而允許所述交替調製雷射光束交替調製目標樣本的光譜反射率，因此所述目標樣本反射出的光束是交替的“開泵”光束與“關泵”光束；和

(d) 至少一個光譜儀，用於測量從所述目標樣本反射出的至少一個光束的光譜成分；

其中從目標樣本反射出的所述至少一個光束被導入所述至少一個光譜儀中，並且

其中所述至少一個交替調製雷射光束交替調製目標樣本的光譜反射率。

【0013】 進一步，根據本發明的一些實施方式，該調製設備直接調製至少一個雷射源或者在所述至少一個雷射光束的路徑中產生至少一個調製雷射光束。

【0014】 進一步，根據本發明的一些實施方式，多通道OCD設置由在垂直於目標樣本方向配置的第一探測光束，和在傾斜於目標樣本方向配置的第二探測光束構成。

【0015】 進一步，根據本發明的一些實施方式，單一/多個探測光束和雷射光束被導向命中所述目標樣本上的單一光斑。

【0016】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括光學元件，其將單一探測光束或者多個探測光束中的至少一個的預定部

分導向到目標樣本上。

【0017】 進一步，根據本發明的一些實施方式，光學元件從光束分離器和反光鏡中選擇。

【0018】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括至少一個光學部件，用於將單一探測光束或者多個探測光束中的至少一個聚焦到光學元件上。

【0019】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括至少一個光學部件，用於將單一探測光束或者多個探測光束中的至少一個聚焦到目標樣本上。

【0020】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括至少一個光學部件，用於將單一探測光束或者多個探測光束中的至少一個聚焦到至少一個光譜儀上。

【0021】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括組合器，其在命中目標樣本前將單一探測光束或者多個探測光束中的至少一個與至少一個交替調製雷射光束組合成為單一光束。

【0022】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括陷波濾波器/偏振器，其用於在調製雷射光束進入光譜儀前將其從目標樣本反射出的組合光束中過濾掉。

【0023】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括光學元件，其將組合光束的預定部分導向到目標樣本上。

【0024】 進一步，根據本發明的一些實施方式，光學元件從光束分離器和反光鏡中選擇。

【0025】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括至少一個光學部件，用於將組合光束聚焦到光學元件上。

【0026】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一

步包括至少一個光學部件，用於將組合光束聚焦到目標樣本上。

【0027】進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合裝置進一步包括至少一個光學部件，用於將組合光束聚焦到陷波濾波器/偏振器中。

【0028】進一步，根據本發明的一些實施方式，因此提供OCD與光反射組合系統，用於改進測量目標樣本光學屬性的OCD性能，並用於計算目標樣本光學屬性的光致變化。該OCD與光反射組合系統包括上述OCD與光反射組合裝置，其中OCD與光反射組合裝置將所述“開泵”光束和所述“關泵”光束轉換成為“開泵”訊號和“關泵”訊號，並將所述“開泵”訊號和所述“關泵”訊號傳輸給電腦，用於從對應於光譜（ $R+\Delta R$ ）的“關泵”訊號中減去對應於光譜（ R ）的“開泵”訊號，得到PR訊號 ΔR 。

【0029】進一步，根據本發明的一些實施方式，因此提供OCD與光反射組合方法，用於測量並計算目標樣本光學屬性的光致變化。所述方法包括：

(a) 提供上述OCD與光反射組合系統；

(b) 將垂直和/或傾斜方向上的單一/多個探測光束聚焦到目標樣本上的光斑上，以及將交替調製的雷射光束聚焦到目標樣本上的所述光斑上，或者將組合光束聚焦到所述目標樣本的光斑上，其中組合光束由探測光束和交替調製雷射光束構成；

(c) 通過所述單一/多個探測光束和交替調製的所述雷射光束，或者通過所述組合光束來交替調製目標樣本的反射率，命中目標樣本的所述光斑，從而獲得從目標樣本上交替反射出的“開泵”光束和“關泵”光束；

(d) 將單一/多個光束或者組合光束導向到至少一個光譜儀，其中組合光束由探測光束和目標樣本反射出的調製雷射光束構成；

(e) 在調製雷射光束到達至少一個光譜儀前從目標樣本反射出的組合光束中將其過濾掉；

(f) 將所述“開泵”光束和所述“關泵”光束轉換成為“開泵”訊號和一個“關泵”

訊號，並將所述“開泵”訊號和所述“關泵”訊號傳輸給電腦；並且

(g) 從對應於光譜 ($R+\Delta R$) 的所述“關泵”訊號中減去對應於光譜 (R) 的所述“開泵”訊號，得到PR訊號 ΔR 。

【0030】 進一步，根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射組合方法進一步包括使用所述組合光束時將至少一個光譜儀與調製設備同步。

【圖式簡單說明】

【0031】 圖1是從320nm到400nm的矽的PR光譜示例。

【0032】 圖2（先前技術）示出了具有的垂直入射通道的SR OCD裝置，用於測量目標樣本的光學屬性。

【0033】 圖3（先前技術）示出了具有垂直與傾斜入射通道的多通道OCD裝置，用於測量目標樣本的光學屬性。

【0034】 圖4示出了根據本發明的一些實施方式的OCD與光反射（PR）光譜組合裝置。

【0035】 圖5示出了根據本發明的一些實施方式的可替代OCD與光反射（PR）光譜組合裝置。

【0036】 圖6示出了根據本發明的一些實施方式的OCD設置與光反射（PR）光譜組合裝置，用於通過垂直於目標樣本配置的第一探測光束和以傾斜角度入射到目標樣本上配置的第二探測光束，測量目標樣本的光學屬性。

【0037】 圖7示出了根據本發明的一些實施方式的方法，通過OCD與光反射（PR）光譜組合系統測量目標樣本的光學屬性。

【實施方式】

【0038】 圖1是從320nm到400nm的矽的PR光譜示例100。

【0039】 根據本發明的一些實施方式，使PR測量通道與標準OCD結合工作，在相同時間和位置上測量樣本，從而提供互為補充的光譜資訊，將是有益的。此資訊可以用於幾種途徑：

-基於模型的，通過將PR回應的理論模型包括在光譜計算中。此類建模可以包括對多個相關效應的因素的考慮，如熱反射、電反射、磁反射，甚至對如載流子激發與擴散、能帶結構與能帶結構上的光效應、非線性回應等的考慮。

-在如薄膜的某些簡單情況下，對特定波長的回應可以直接與膜厚度、吸收或反射指數相關。

【0040】 在更複雜的情況下，可以採用在受控的參考資料上訓練的機器學習演算法，並將受益於PR靈敏度的增加。

【0041】 這種方法的吸引力還來自兩種方法的配合。OCD工具的寬頻光譜測量通道適用於用作PR系統中的探頭。為完成本系統，調製的泵浦光束需要插入光路中並與光譜採集電路同步。

【0042】 然而，為使此方法有效需要考慮一些細節。一個就是雜訊問題。PR的一項挑戰是對反射率的調製較小（ $\frac{\Delta R}{R} \sim 10^{-4} - 10^{-5}$ ），其需要非常高信噪比（SNR）的反射計測量（在 $\sim 10^{5-6}$ 的數量級）。這在集成OCD系統的環境下尤為如此，OCD系統通常具有 $\sim 10^{3-4}$ 數量級的SNR並需要在小於 ~ 1 秒的時間內測量來保持合理的輸送量。如果PR是OCD測量的一部分，那麼也應該符合相似的要求。

【0043】 處理這個問題而不用完全重新設計OCD系統的可能方式是使用高亮度源，如超連續譜雷射（SCL）或一些類型的雷射驅動等離子源。

【0044】 舉一個典型數字為例，實現 10^5 的散粒雜訊限制SNR需要感測器中的每個像素聚集 $> 10^{10}$ 的光子（也就是在相似的採集時間比典型OCD測量多 $\sim 10^{3-4}$ 倍的光）。為實現這個1s的時間跨度，最大阱容（FWC）的幀率結果是 $\sim 10^{10} e^-/s$ 。

【0045】 基於當前感測器和電子技術的實際值是 $\sim 10^{2-3}$ FPS的幀率和 $\sim 10^{7-8} e^-$ 的FWC，這可通過線陣CCD實現。通過將這種採集系統與高亮度源如SCL組合，可以滿足SNR和輸送量的要求。

【0046】 PR光譜儀的另一個問題是更亮的泵浦光束的探測束污染，這可以是直接的或者是通過雜散光。在這種環境下，OCD工具設計的關鍵參數是入射角度（AOI）的值，入射角度多數有兩種方式：

-垂直入射通道：通常用在需要具有小足跡的集成計量工具中。單一物鏡用於照射和聚光。

-多通道（垂直和傾斜入射通道）：通常用在單獨的計量工具中。分離物鏡用於反射光束的傾斜照射和聚光。

【0047】 根據系統設計，將泵浦光束和探測光束共同出現在目標樣本上可以通過幾種方式實施：

-非共線式：分離泵浦光束和探測光束最直接的方法是使用不同的AOI，在不同的檢測器平面上幾何地分離，如下圖4所示。這需要兩條光束的聚焦和光軸匹配。

-在多通道工具中，這可通過將一個通道（垂直或傾斜）用於泵浦而另一個用於探測光束來實現。

【0048】 可替換地，泵浦光可以從物鏡外傾斜插入到僅限垂直的設計中。然而這需要更實質的系統修改才能解決。

【0049】 另一個選擇是使用具有大NA物鏡的垂直通道，並由探測光束只照射中心部分而由泵浦光束照射外環，通過使用合適的光圈在聚光通道容易地分離。

【0050】 -共線：如下圖5和圖6所示，將泵浦光束和探測光束組合成為共線光束具有一些優點，如無需聚焦和兩個通道光軸對齊。但這需要以其它方式分離，如：

○偏振：泵浦光束和探測光束可以垂直偏振，以便聚光通道的偏振光束將阻擋泵浦光束而不能到達檢測器。

○光譜方式：如果泵浦光束WL充分遠離探測譜中的待測區域，那麼可以由

光譜儀內或之前的色散元件分離，或者如果泵浦波長落在測量的光譜範圍以外將無法直接檢測到。

○時間方式：探測光束自己可以在不同頻率上調製，使PR訊號被LID在泵浦與探測調製的頻率和上恢復，而同時去除泵浦自身和其它相關的偽像，如光致發光。

【0051】 可以選擇或控制泵浦光束從而改變性能，有如下幾種方式：

-波長：不同波長將根據能帶結構和佔有水平而對材料產生不同影響，允許結構中的不同材料選擇性增強靈敏度。

-強度：PR通常是非線性的，由於產生的載流子影響能帶結構，能帶結構反過來改變更多光子的吸收。通過改變泵浦光束強度，可以探測這些非線性屬性，提供（例如）載流子壽命、電荷阱及缺陷的資訊。

-偏振：改變泵浦偏振可以改變泵浦光束的吸收輪廓，突出結構的不同部分。

-重複速率和照射光斑：由於載流子是移動的，載流子通過自身壽命、平均自由程、有效品質等決定的方式從泵浦光斑擴散出去。更改時間和空間的泵浦照射模式以能夠聯繫這些物理參數的方式影響PR回應。另外，重複速率一旦變得與激發載流子的壽命可比較，PR訊號就能夠強烈取決於特定的重複速率。

【0052】 當然，適當選擇“探測”路徑屬性（波長範圍、偏振、AOI等）將指示本方案的計量優勢，參數靈敏度、相關性和整體性能。

【0053】 圖2（先前技術）示出了具有垂直入射通道的SR OCD裝置200，其用於測量目標樣本的光學屬性。

【0054】 根據本發明的一些實施方式，OCD裝置200用於通過垂直於目標樣本208的方向配置的探測光束204測量目標樣本208的光學屬性。

【0055】 OCD裝置200包括用於產生探測光束204的探測源202，和用於從目標樣本208測量反射出的光束的光譜成分光譜儀206。OCD裝置200進一步包括光學元件210，如光束分離器、反光鏡及相似和多個鏡頭，例如鏡頭212、鏡頭214

和鏡頭216。

【0056】光學元件210將探測光束204導向到目標樣本208上，並且將從目標樣本208反射出的光束導向到光譜儀206。

【0057】根據本發明的一些實施方式，鏡頭212將探測光束204聚焦到光學元件210上，鏡頭214是用於照射和聚光的單一物鏡，將光學元件210發出的光束聚焦到目標樣本208上，並將目標樣本208反射出的光束聚焦到光學元件210，而鏡頭216將光學元件發出的光束聚焦到光譜儀206。

【0058】因此，在運行時，探測源202產生連續的探測光束204，其通過鏡頭212聚焦到光學元件210上。光學元件210將預定部分的探測光束204通過鏡頭214導向到目標樣本208上，從目標樣本208反射出的光束通過鏡頭214聚焦到光學元件210上，而光學元件210發出的光束通過鏡頭216聚焦到光譜儀206中。

【0059】因此，在運行時，探測源202產生連續的探測光束204，其通過鏡頭212聚焦到光學元件210上。光學元件210將預定部分的探測光束204導向到目標樣本208上，並且從目標樣本208反射出的光束通過鏡頭214聚焦到光學元件210上，並通過鏡頭216聚焦到光譜儀206中。

【0060】圖3（先前技術）示出了具有垂直於傾斜入射通道的多通道OCD裝置300，其用於測量樣本的光學屬性。

【0061】根據本發明的一些實施方式，多通道OCD裝置300包括垂直於目標樣本330方向配置的第一探測源302，和以傾斜角度入射到目標樣本330上配置的第二探測源306，通過根據本發明的一些實施方式的OCD與光反射組合系統來測量樣本的光學屬性。

【0062】根據本發明的一些實施方式，分離物鏡用於反射光束的傾斜照射和聚光。

【0063】OCD裝置300進一步包括第一光譜儀310和第二光譜儀312，用於測量從目標樣本330反射出的光束的光譜成分，以及光學元件314，如光束分離器、

反光鏡等，和多個聚焦部件，如鏡頭316、鏡頭318、和鏡頭320、鏡頭322、鏡頭324、鏡頭326和鏡頭328。

【0064】如圖所示，光學元件314將探測光束304垂直導向到目標樣本330，並將目標樣本330反射出的光束導向到第一光譜儀310，並且鏡頭316將探測光束304聚焦到光學元件314，鏡頭320將光學元件314發出的光束聚焦到第一光譜儀310，而鏡頭318是用於照射和聚光的單一物鏡，其將光學元件314發出的光束聚焦到目標樣本330，並將目標樣本313反射出的光束聚焦到光學元件314。

【0065】第二探測源306產生第二探測光束308，其以傾斜入射角度導向到目標樣本330上。第二探測光束308通過鏡頭322和324聚焦到目標樣本330上，從目標樣本330反射出的光束通過鏡頭326和328聚焦到第二光譜儀312上。

【0066】因此，在運行時，第一探測源302和第二探測源306不斷地產生連續的探測光束(304和308)。探測光束304通過鏡頭316聚焦到光學元件314上。光學元件314將預定部分的探測光束304以垂直方向導向到目標樣本330，並且從目標樣本330反射出的光束通過鏡頭318聚焦到光學元件314上，並通過鏡頭320聚焦到第一光譜儀310中。

【0067】第二探測光束308以傾斜入射角度導向到目標樣本330上。第二探測光束308通過鏡頭322和324聚焦到目標樣本330上，而從目標樣本330的反射出的光束通過鏡頭326和328聚焦到第二光譜儀312上。

【0068】由於材料的光譜反射率與電子屬性密切相關，如能帶結構、態密度、自由載流子等，調製光譜（MS）比其它任何光學光譜方法對這些屬性更具有獨特的靈敏度。當半導體設備需要在生產過程早期進行電測試時，MS方法可能具有很高的價值，這對於傳統的電測試是不可能的。

【0069】以下附圖示出了根據本發明的一些實施方式的一種適用於在先進半導體技術節點上遇到的更小的尺寸和更高的幾何與材料複雜性的OCD與光反射（PR）組合系統。

【0070】圖4示出了根據本發明的一些實施方式的OCD與光反射（PR）光譜組合裝置400。

【0071】OCD設置包括用於產生探測光束404的探測源402，和用於測量從目標樣本407反射出的光束的光譜成分的光譜儀406。OCD設置進一步包括光學元件408，如光束分離器、反光鏡等，和聚焦元件，如鏡頭410、鏡頭412和鏡頭414，用於各自將探測光束404聚焦到光學元件408，將光學元件408發出的光束聚焦到目標樣本407，以及將目標樣本407反射出的光束聚焦到光譜儀406。鏡頭412是用於照射和聚光的單一物鏡，將光學元件408發出的光束聚焦到目標樣本407，並將目標樣本407反射出的光束聚焦到光學元件408。

【0072】根據本發明的一些實施方式，光反射（PR）光譜設置包括泵浦雷射器418、在雷射光束422的路徑中的調製器420，和至少一個光學部件，如鏡頭424和鏡頭426，用於將調製雷射光束428聚焦到目標樣本407上。

【0073】根據本發明的一些實施方式，雷射光束422被調製為交替調製樣本（目標樣本407）的反射率，以便具有從目標樣本407上反射出的“開泵”光束和“關泵”光束。

【0074】根據本發明的一些實施方式，雷射光束422可以被電衰減，或者通過適當的衰減光學濾波器被衰減，例如可機械地移入/移出泵浦光束的光路，以及/或者基於光電裝置等。

【0075】在運行時，探測源402產生連續的探測光束404，其通過鏡頭410聚焦到光學元件408上。光學元件408將預定部分的探測光束404導向到目標樣本407上，並且從目標樣本407反射出的光束通過鏡頭412聚焦到光學元件408上，並通過鏡頭414聚焦到光譜儀406中。

【0076】根據本發明的一些實施方式，調製器420將雷射光束422交替導向到目標樣本407，從而交替調製目標樣本407的反射率。

【0077】因此，根據本發明的一些實施方式，測量有兩種模式，一種是在調

製雷射光束428到達目標樣本407的情況，另一種是在調製雷射光束428被快門關閉的情況。

【0078】當雷射光束422到達目標樣本407時，目標樣本407反射出的光束是“開泵”光束，而當雷射光束422被快門關閉時，目標樣本407反射出的光束是“關泵”光束。

【0079】因此，這樣的OCD與光反射（PR）光譜組合裝置400允許交替測量（a）目標樣本407的光譜反射率，和（b）目標樣本407的調製反射率，例如光譜的變化而不是光譜自身作為擾動的回應。

【0080】圖5示出了根據本發明的一些實施方式的可替代OCD與光反射（PR）光譜組合裝置500。

【0081】可替代OCD與光反射（PR）光譜組合裝置500相比圖4中說明與描述的裝置更緊湊，而這樣可以適用於在尺寸受限的空間中使用，例如在半導體生產設備中，如鍍膜設備等。

【0082】根據本發明的一些實施方式，可替代OCD與光反射（PR）光譜組合裝置500由用於產生探測光束504的探測源502，和用於測量目標樣本507反射出的光束的光譜成分的光譜儀506構成。可替代OCD與光反射（PR）光譜組合裝置500進一步包括泵浦雷射器508、在雷射光束512路徑中的調製器510、組合器514、陷波濾波器/偏振器516和電路518。

【0083】根據本發明的一些實施方式，雷射光束512被調製從而交替調製目標樣本507的反射率，這樣具有從樣本507上反射出的“開泵”光束和“關泵”光束。

【0084】可替代OCD與光反射（PR）光譜組合裝置500進一步包括光學元件520，其將預定部分的組合光束522導向到目標樣本507上，和多個光學部件，如鏡頭524、鏡頭526和鏡頭528，各自用於將組合光束聚焦到光學元件520上、聚焦到目標樣本507上並聚焦到陷波濾波器/偏振器516中。

【0085】圖4的OCD與光反射（PR）光譜組合裝置400中，OCD與光反射（PR）

光譜組合裝置400使用了兩個分離的光束，即探測光束和泵浦雷射光束，其被導向來命中目標樣本上的單一光斑，與該圖相反，在本圖中，探測光束504和泵浦雷射光束512組成為單一光束，被交替調製。

【0086】雷射光束512通過調製器510調製，而調製雷射光束513通過組合器514與探測光束504組合，而產生交替調製的組合光束522。

【0087】交替調製的組合光束522通過鏡頭524聚焦到光學元件520上，光學元件520將預定部分的交替調製的組合光束522以垂直方向導向到目標樣本507。

【0088】根據本發明的一些實施方式，目標樣本507反射出的光束通過鏡頭526聚焦到光學元件520上，而光學元件520發出的光束505進入光譜儀506前，通過鏡頭528在聚焦到陷波濾波器/偏振器516上。

【0089】陷波濾波器/偏振器516用於從目標樣本507反射出的組合光束中過濾掉調製雷射光束513，從而避免損壞光譜儀506。

【0090】根據本發明的一些實施方式，電路518用於同步調製器510和光譜儀506。

【0091】圖6示出了根據本發明的一些實施方式的OCD設置與光反射（PR）光譜組合裝置600，用於通過垂直於目標樣本配置的第一探測光束和以傾斜角度入射到目標樣本上配置的第二探測光束，測量目標樣本的光學屬性。

【0092】OCD設置與光反射（PR）光譜組合裝置600由圖5的OCD設置與光反射（PR）光譜組合裝置500，和配置為以傾斜角度入射到目標樣本上的探測光束的另外的OCD設置構成。

【0093】OCD與光反射（PR）光譜組合裝置600是緊湊型的，並且可以適用於在尺寸受限的空間中使用，例如在在半導體生產設備中，如鍍膜設備等。

【0094】根據本發明的一些實施方式，OCD與光反射（PR）光譜組合裝置600由產生第一探測光束604的第一探測源602，和用於測量目標樣本607反射出的光束的光譜成分的第一光譜儀606構成。

【0095】 OCD與光反射（PR）光譜組合裝置600進一步包括泵浦雷射器608、雷射光束612路徑中的調製器610、組合器614，用於將第一探測光束604與調製雷射光束613組合成為組合光束622、電路618和陷波濾波器/偏振器619。

【0096】 根據本發明的一些實施方式，雷射光束612被調製為交替調製目標樣本607的反射率，從而獲得從樣本607上反射出的“開泵”光束和“關泵”光束。

【0097】 根據本發明的一些實施方式，電路618用於同步調製器610和光譜儀606。

【0098】 OCD與光反射（PR）光譜組合裝置600進一步包括光學元件620，其將預定部分的組合光束622導向到目標樣本607上，和多個光學部件，如鏡頭624、鏡頭626和鏡頭628，各自用於在組合光束進入第一光譜儀606前將其聚焦到光學元件620上、聚焦到目標樣本607上，以及聚焦到陷波濾波器/偏振器619中。

【0099】 與圖5中的OCD與光反射（PR）光譜組合裝置500一樣，探測光束604和調製雷射光束613組合成為單一組合光束622，而被交替調製。

【0100】 交替調製的組合光束622通過鏡頭624聚焦到光學元件620上，光學元件620將預定部分的交替調製的組合光束622以垂直方向導向到目標樣本607。

【0101】 根據本發明的一些實施方式，目標樣本607反射出的光束通過鏡頭626聚焦到光學元件620上，而光學元件620發出的光束605通過鏡頭628在進入光譜儀606前聚焦到陷波濾波器/偏振器619上。

【0102】 陷波濾波器/偏振器619用於從光束605中過濾掉調製雷射光束613，從而避免損壞光譜儀606。

【0103】 根據本發明的一些實施方式，第二探測源630產生第二探測光束632，其以傾斜入射角度導向到目標樣本607上。第二探測光束632通過鏡頭634和636聚焦到目標樣本607上，而從目標樣本607反射出的光束通過鏡頭638和640聚焦到第二光譜儀642上。

【0104】 因此，在運行時，第一探測源602和第二探測源630不斷地產生連續的探測光束604和632。探測光束604和調製雷射光束613組合成組合光束622而被交替調製。組合光束622通過鏡頭624聚焦到光學元件620上，光學元件620將預定部分的組合光束622以垂直方向導向到目標樣本607，而目標樣本607反射出的光束603通過鏡頭626聚焦到光學元件620上。

【0105】 光學元件620發出的光束605在進入光譜儀606前通過鏡頭628聚焦到陷波濾波器/偏振器619上。

【0106】 根據本發明的一些實施方式，由於目標樣本607交替調製的光譜反射率，從所述目標樣本607反射出的光束603攜帶一些調製。

【0107】 根據本發明的一些實施方式，第二探測光束632以傾斜入射角度導向到目標樣本607上。第二探測光束632通過鏡頭634和636聚焦到目標樣本607上，而從目標樣本607反射出的光束通過鏡頭638和640聚焦到第二光譜儀642上。

【0108】 根據本發明的一些實施方式，光反射（PR）光譜系統可以包括光反射（PR）光譜組合裝置400、光反射（PR）光譜組合裝置500和光反射（PR）光譜裝置600中的一個以及電腦。

【0109】 光反射（PR）光譜組合裝置400、500、600將“開泵”光束和“關泵”光束轉換成為“開泵”訊號和“關泵”訊號，並將“開泵”訊號和“關泵”訊號傳輸給電腦，在電腦中從對應於光譜（ $R+\Delta R$ ）的“關泵”訊號中減去對應於光譜（ R ）的“開泵”訊號，得到PR訊號 ΔR 。

【0110】 圖7說明了根據本發明的一些實施方式的方法700，通過組合OCD與光反射（PR）光譜系統測量目標樣本光學屬性。

【0111】 方法700包括以下步驟。

【0112】 步驟702：提供上圖4-圖6所述的OCD與光反射組合系統之一。

【0113】 步驟704：將單一/多個探測光束404、632在垂直和/或傾斜方向上聚焦到目標樣本407、507、607上的光斑上，以及將交替調製雷射光束428聚焦到

目標樣本407、507、607上的所述光斑上。

【0114】可替換地，將組合光束522、622聚焦到所述目標樣本407、507、607上的光斑上，其中組合光束522、622由探測光束504、604和交替調製雷射光束513、613構成。

【0115】步驟706：通過單一/多個探測光束404、632命中目標樣本407、507、607上的單一光斑，以及通過激光束交替命中目標樣本407、507、607上的該單一光斑，以交替調製目標樣本407、507、607上的該光斑的反射率。

【0116】可替換地，將光譜儀506、606與調製器510、610同步，並通過組合光束522、622不斷地命中目標樣本507、607，其中組合光束522、622由調製雷射光束513、613和探測光束504、604構成。

【0117】步驟708：將目標樣本407、507、607反射出的單一/多個光束（對應於單一/多個探測光束）導向到至少一個光譜儀406、506、606、642。

【0118】步驟710：在使用由探測光束504、604和調製雷射光束513、613構成的組合光束522、622的情況下，在調製雷射光束513、613到達光譜儀506、606前將其從目標樣本507、607反射出的光束中過濾掉。

【0119】步驟712：將“開泵”光束和“關泵”光束轉換成為“開泵”訊號和“關泵”訊號，並將“開泵”訊號和“關泵”訊號傳輸給電腦；並且

【0120】步驟714：從對應於光譜（ $R+\Delta R$ ）的“關泵”訊號中減去對應於光譜（ R ）的“開泵”訊號，得到PR訊號 ΔR 。

【符號說明】

【0121】

100：矽的PR光譜示例

200：OCD裝置

202：探測源

204：探測光束

- 206：光譜儀
- 208：目標樣本
- 210：光學元件
- 212、214、216：鏡頭
- 300：OCD裝置
- 302：第一探測源
- 304：探測光束
- 306：第二探測源
- 308：第二探測光束
- 310：第一光譜儀
- 312：第二光譜儀
- 314：光學元件
- 316、318、320、322、324、326、328：鏡頭
- 330：目標樣本
- 400：光反射（PR）光譜組合裝置
- 402：探測源
- 404：探測光束
- 406：光譜儀
- 407：目標樣本
- 408：光學元件
- 410、412、414、424、426：鏡頭
- 418：泵浦雷射器
- 420：調製器
- 422：雷射光束
- 428：調製雷射光束

- 500：光反射（PR）光譜組合裝置
- 502：探測源
- 504：探測光束
- 505：光束
- 506：光譜儀
- 507：目標樣本
- 508：泵浦雷射器
- 510：調製器
- 512：雷射光束
- 513：調製雷射光束
- 514：組合器
- 516：陷波濾波器/偏振器
- 518：電路
- 520：光學元件
- 522：組合光束
- 524、526、528：鏡頭
- 600：光反射（PR）光譜組合裝置
- 602：第一探測源
- 603、605、635：光束
- 604：(第一)探測光束
- 606：(第一)光譜儀
- 607：目標樣本
- 608：泵浦雷射器
- 610：調製器
- 612：雷射光束

613：調製雷射光束

614：組合器

618：電路

619：陷波濾波器/偏振器

620：光學元件

622：組合光束

624、626、628、634、636、638、640：鏡頭

630：第二探測源

632、636：(第二)探測光束

700：方法

702~714：步驟

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於改進目標樣本光學屬性測量的光學臨界尺寸（OCD）性能的光學臨界尺寸與光反射組合裝置，包括：

（a）單通道 OCD 設置，其由在垂直於/傾斜於所述目標樣本方向配置的單一探測光束構成，或者多通道 OCD 設置，其具有多個探測光束配置在所述目標樣本的垂直和傾斜方向上，用於在所述垂直方向和/或所述傾斜方向上測量所述目標樣本的所述光學屬性；

（b）至少一個用於產生至少一個雷射光束的雷射源；

（c）至少一個調製設備，將所述至少一個雷射光束轉換成為至少一個交替調製雷射光束，從而允許所述交替調製雷射光束交替調製所述目標樣本的光譜反射率，以便所述目標樣本反射出的光束是交替的“開泵”光束與“關泵”光束；以及

（d）至少一個光譜儀，用於測量從所述目標樣本反射出的至少一個光束的光譜成分；

其中從所述目標樣本反射出的所述至少一個光束被導入至少一個所述光譜儀中，並且

其中至少一個所述交替調製雷射光束交替調製所述目標樣本的所述光譜反射率。

【請求項2】 如請求項1所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其中所述調製設備直接調製至少一個所述雷射源或者在所述至少一個雷射光束的一個路徑中產生至少一個調製雷射光束。

【請求項3】 如請求項1所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其中所述多通道OCD設置由在垂直於所述目標樣本方向配置的第一探測光束和在傾斜於所述目標樣本方向配置的第二探測光束構成。

【請求項4】 如請求項1所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其中所

述單一探測光束或者所述多個探測光束和所述雷射光束被導向來命中所述目標樣本上的單一光斑。

【請求項5】 如請求項1至4中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括光學元件，其將所述單一探測光束或者所述多個探測光束的至少一個的預定部分導向到所述目標樣本上。

【請求項6】 如請求項5所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其中所述光學元件從光束分離器和反光鏡中選擇。

【請求項7】 如請求項1至6中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括至少一個光學部件，用於將所述單一探測光束或者所述多個探測光束的至少一個聚焦到所述光學元件上。

【請求項8】 如請求項1至7中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括至少一個光學部件，用於將所述單一探測光束或者所述多個探測光束的至少一個聚焦到所述目標樣本上。

【請求項9】 如請求項1至8中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括至少一個光學部件，用於將所述單一探測光束或者所述多個探測光束的至少一個聚焦到至少一個所述光譜儀上。

【請求項10】 如請求項1所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括組合器，其在命中所述目標樣本前將所述單一探測光束或者所述多個探測光束的至少一個與至少一個所述交替調製雷射光束組合成為單一光束。

【請求項11】 如請求項1所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括陷波濾波器/偏振器，用於在進入所述光譜儀前從所述目標樣本反射出的組合光束中過濾掉所述調製雷射光束。

【請求項12】 如請求項10或11所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括光學元件，用於將所述組合光束的預定部分導向到所述目標樣本上。

【請求項13】 如請求項12所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其中所

述光學元件從光束分離器和反光鏡中選擇。

【請求項14】 如請求項10至13中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括至少一個光學部件，用於將所述組合光束聚焦到所述光學元件上。

【請求項15】 如請求項10至13中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括至少一個光學部件，用於將所述組合光束聚焦到所述目標樣本上。

【請求項16】 如請求項10至15中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置，其進一步包括至少一個光學部件，用於將所述組合光束聚焦到所述陷波濾波器/偏振器上。

【請求項17】 一種用於改進目標樣本光學屬性測量的光學臨界尺寸（OCD）性能和計算目標樣本光學屬性光致改變的光學臨界尺寸與光反射組合系統，所述光學臨界尺寸與光反射組合系統包括請求項1至16中任一項所述之光學臨界尺寸與光反射組合裝置；及電腦，其中所述光學臨界尺寸與光反射組合裝置將所述“開泵”光束和所述“關泵”光束轉換成為“開泵”訊號和“關泵”訊號，並將所述“開泵”訊號和所述“關泵”訊號傳輸給所述電腦，用於從對應於光譜（ $R+\Delta R$ ）的所述“關泵”訊號中減去對應於光譜（ R ）的所述“開泵”訊號，得到光反射（ PR ）訊號（ ΔR ）。

【請求項18】 一種用於測量和計算目標樣本光學屬性的光致變化的光學臨界尺寸（OCD）與光反射組合方法，包括以下步驟：

（a）提供請求項17所述之光學臨界尺寸與光反射組合系統；

（b）將單一/多個探測光束在垂直和/或傾斜方向上聚焦到目標樣本上的光斑上，並將交替調製雷射光束聚焦到所述目標樣本上的所述光斑上，或者將由探測光束和交替調製雷射光束構成的組合光束聚焦到所述目標樣本的光斑上；

(c) 通過所述單一/多個探測光束和所述交替調製雷射光束，或者通過所述組合光束來交替調製所述目標樣本的反射率，命中所述目標樣本的所述光斑，從而獲得從所述目標樣本上交替反射出的“開泵”光束和“關泵”光束；

(d) 將單一/多個光束或者由探測光束和所述目標樣本反射出的調製雷射光束構成的組合光束導向到至少一個光譜儀；

(e) 在所述調製雷射光束到達所述至少一個光譜儀前從所述目標樣本反射出的所述組合光束中將其過濾掉；

(f) 將所述“開泵”光束和所述“關泵”光束轉換成為“開泵”訊號和一個“關泵”訊號，並將所述“開泵”訊號和所述“關泵”訊號傳輸給電腦；以及

(g) 從對應於光譜($R+\Delta R$)的所述“關泵”訊號中減去對應於光譜(R)的所述“開泵”訊號，得到光反射(PR)訊號(ΔR)。

【請求項19】 如請求項18所述之光學臨界尺寸(OCD)與光反射組合方法，其進一步包括使用所述組合光束時將所述至少一個光譜儀與調製設備同步。

【發明圖式】

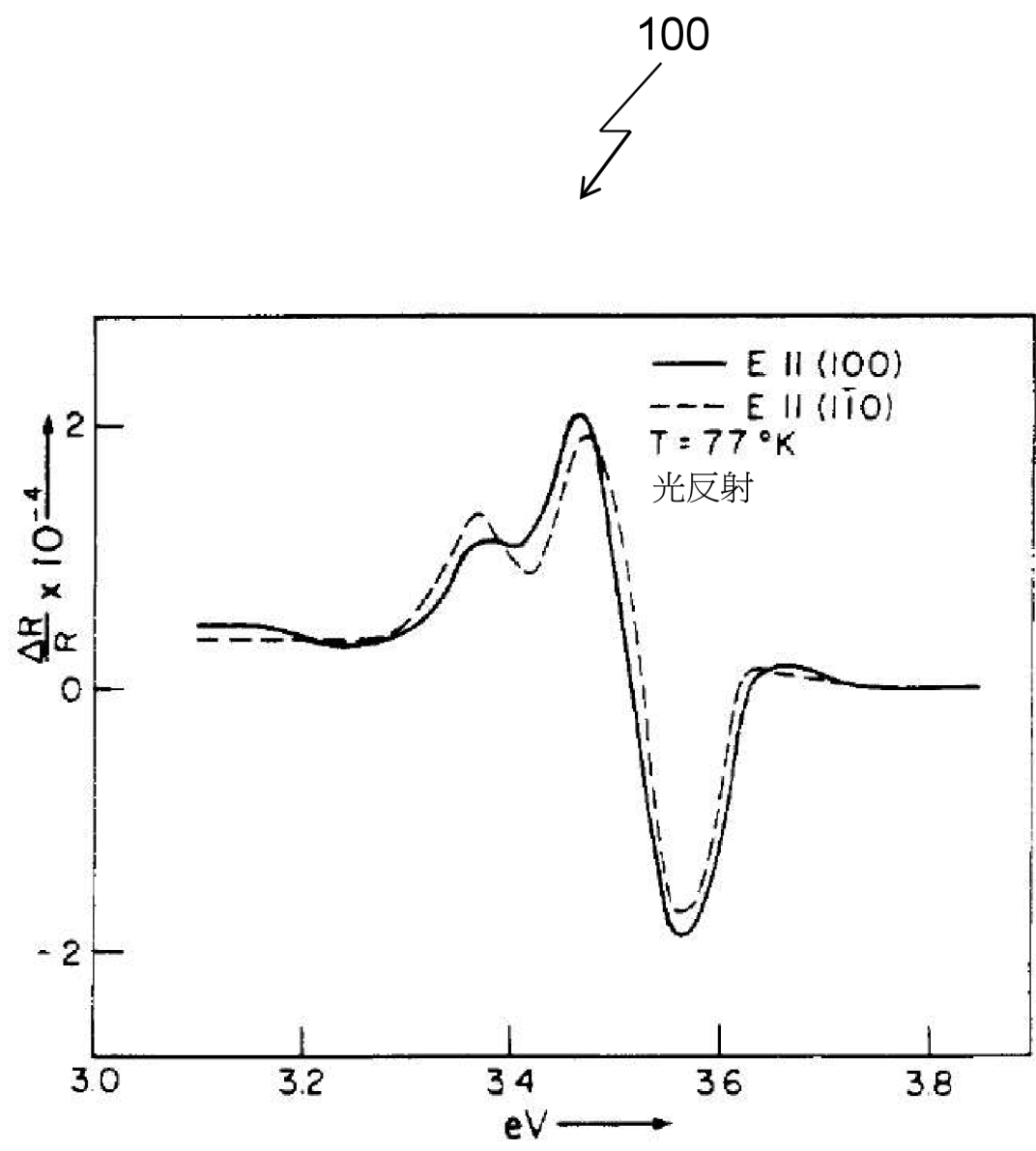


圖 1

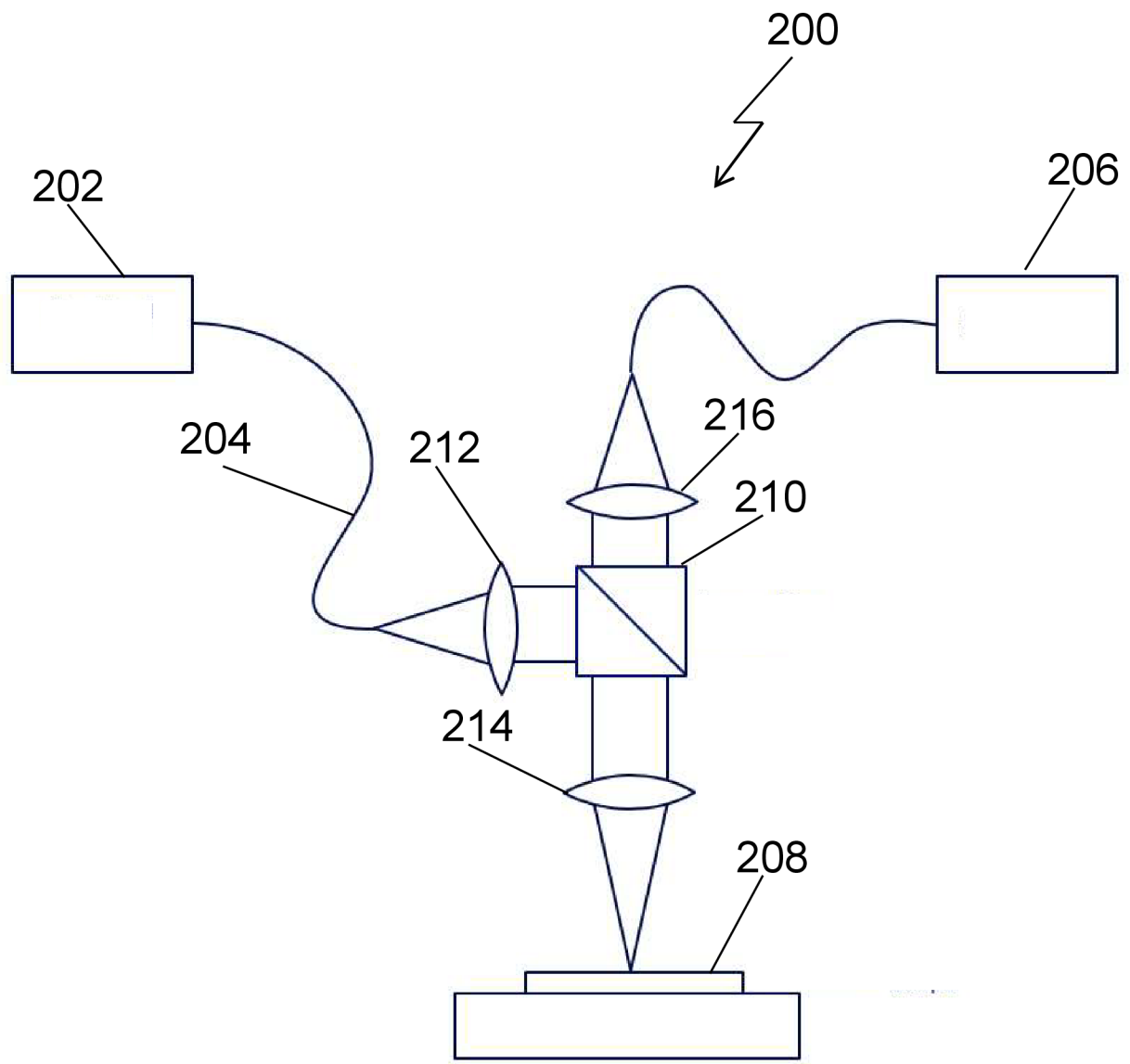


圖2
(先前技術)

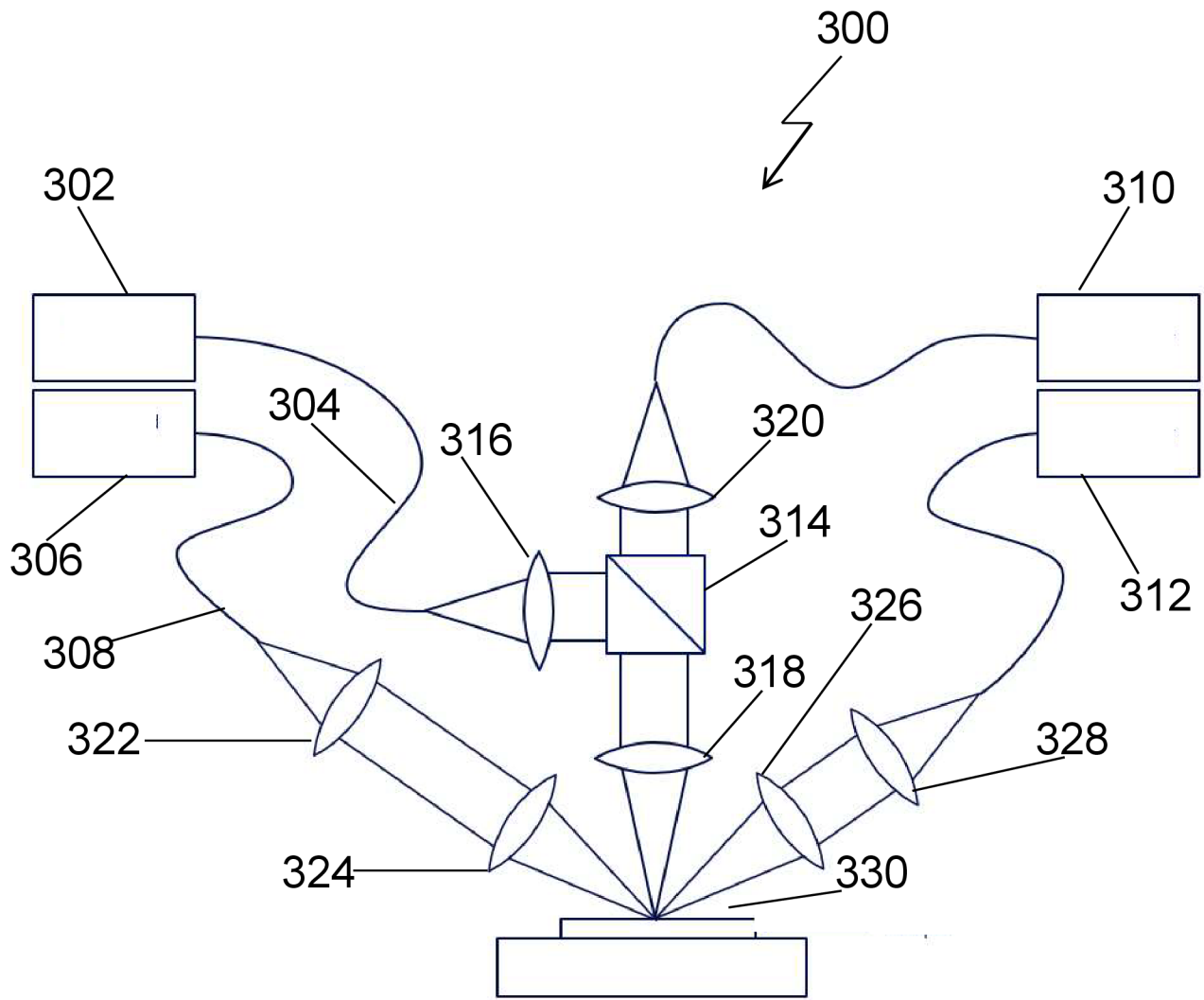


圖3
(先前技術)

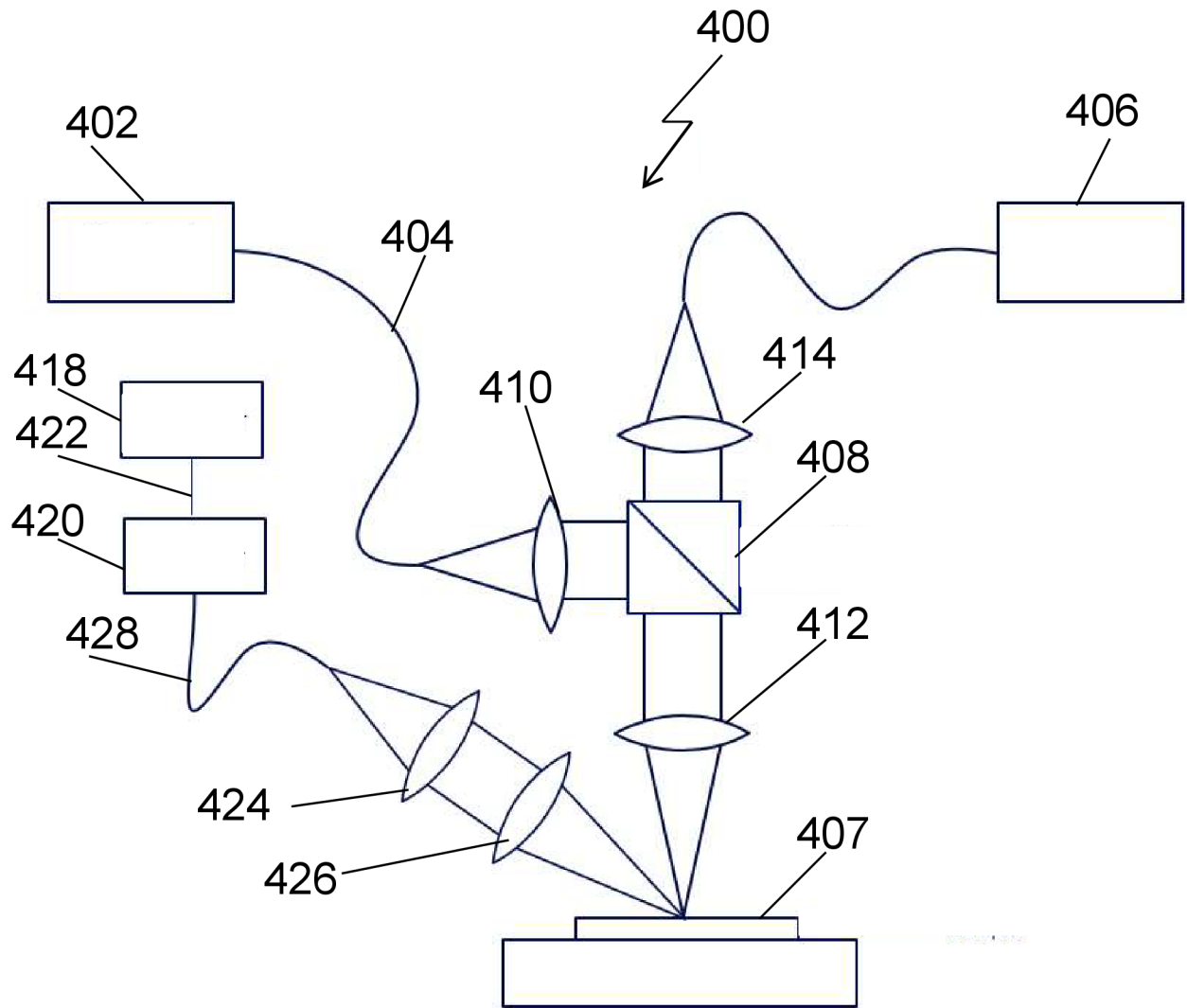


圖4

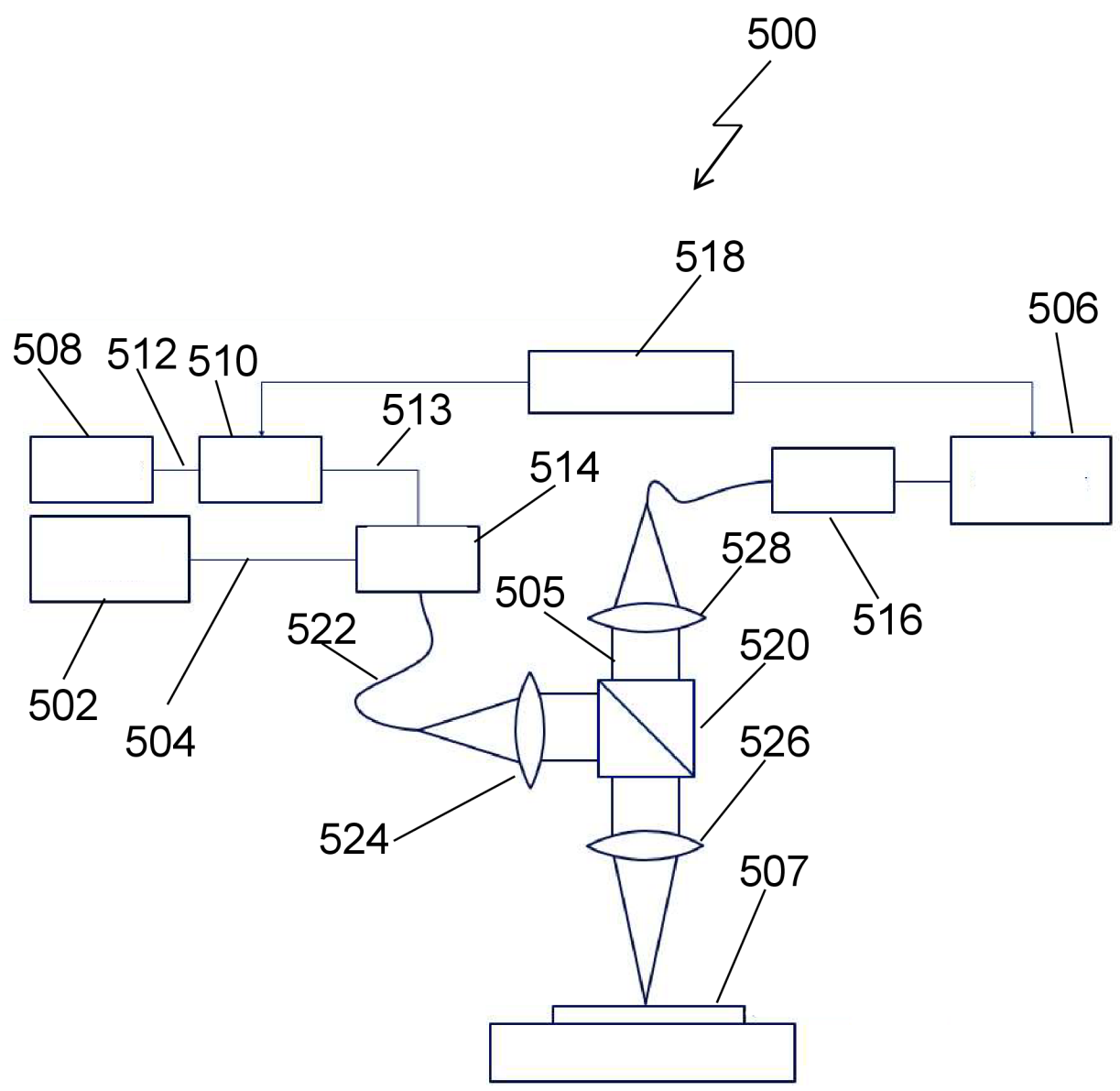


圖5

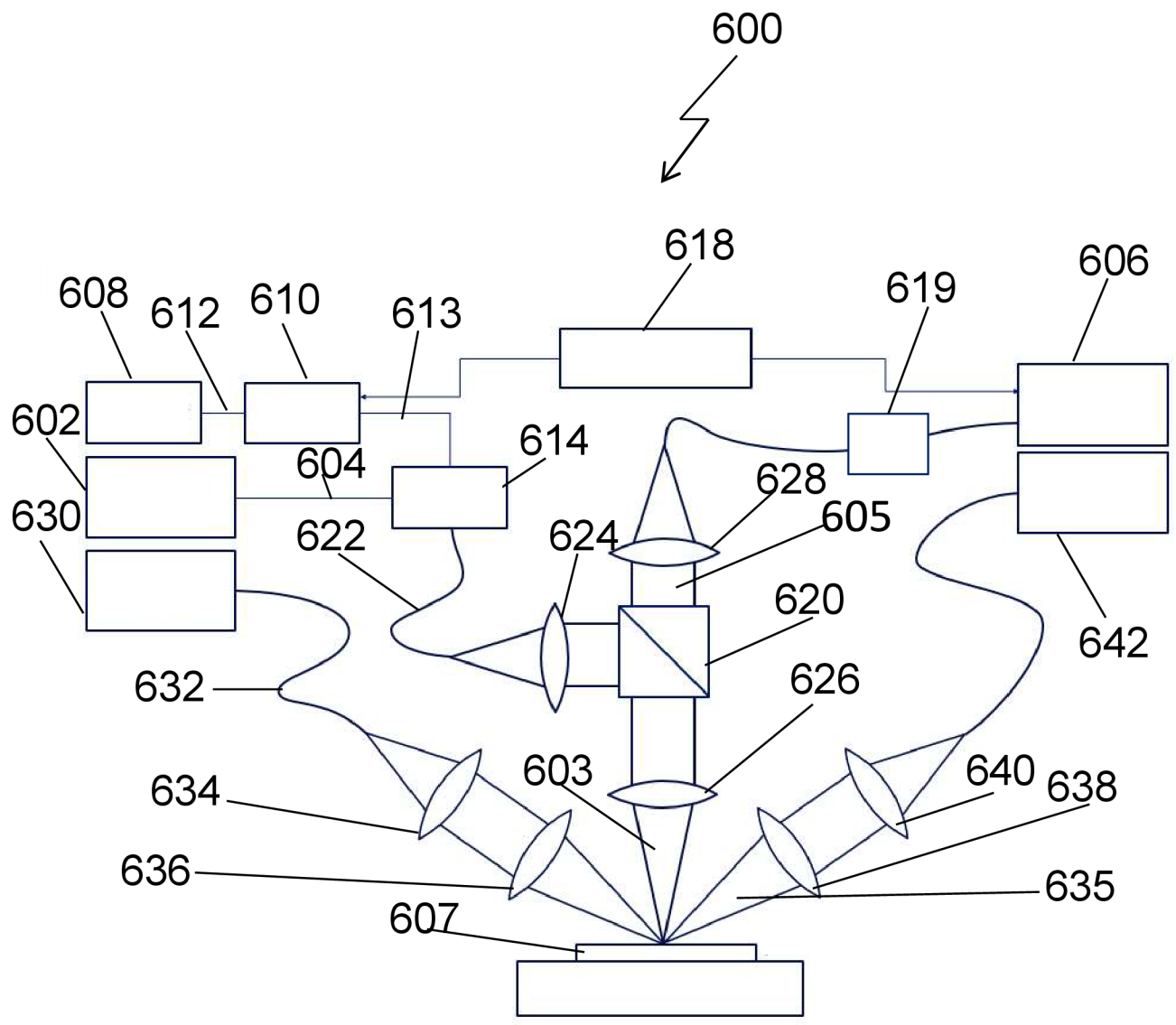


圖6

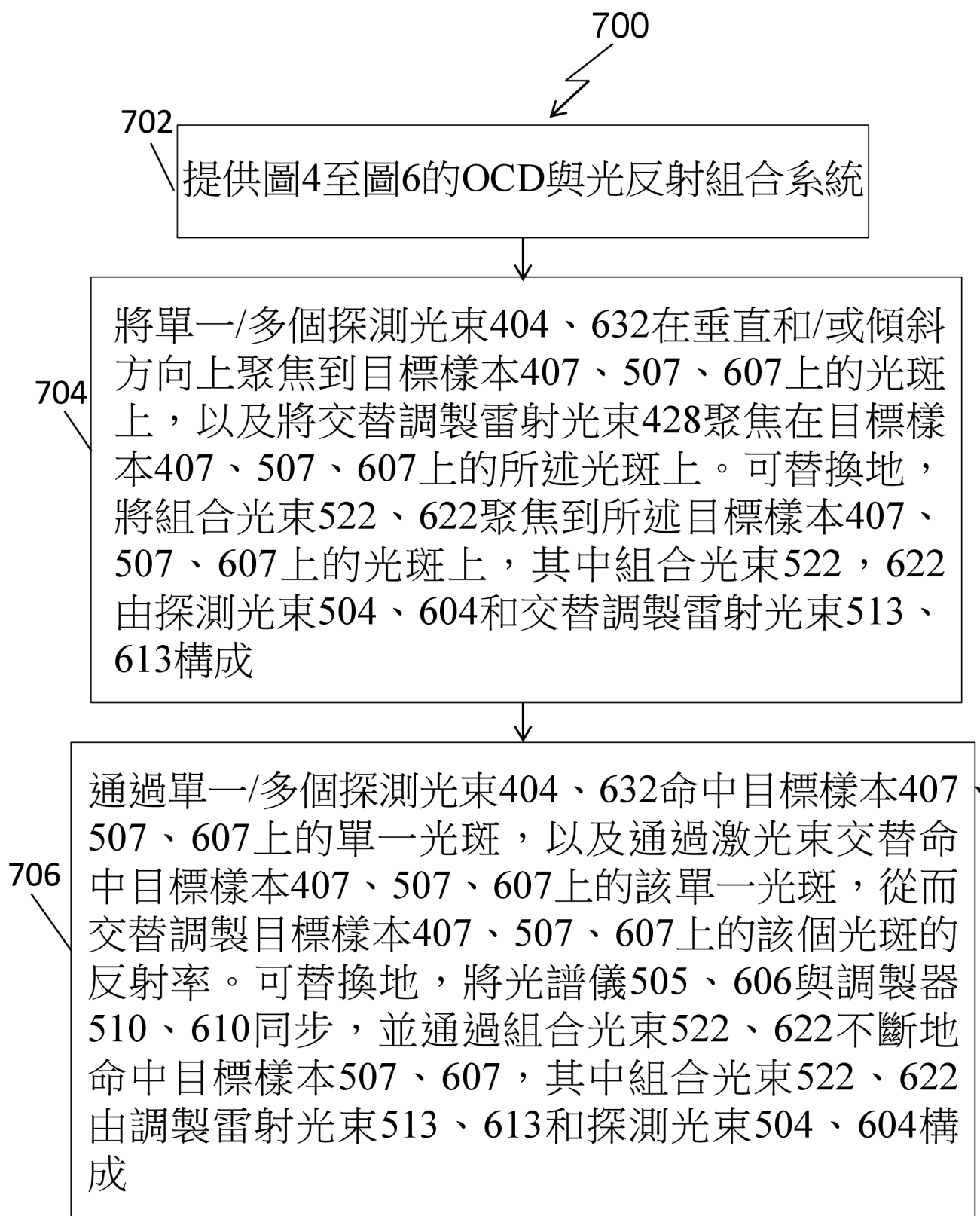


圖7

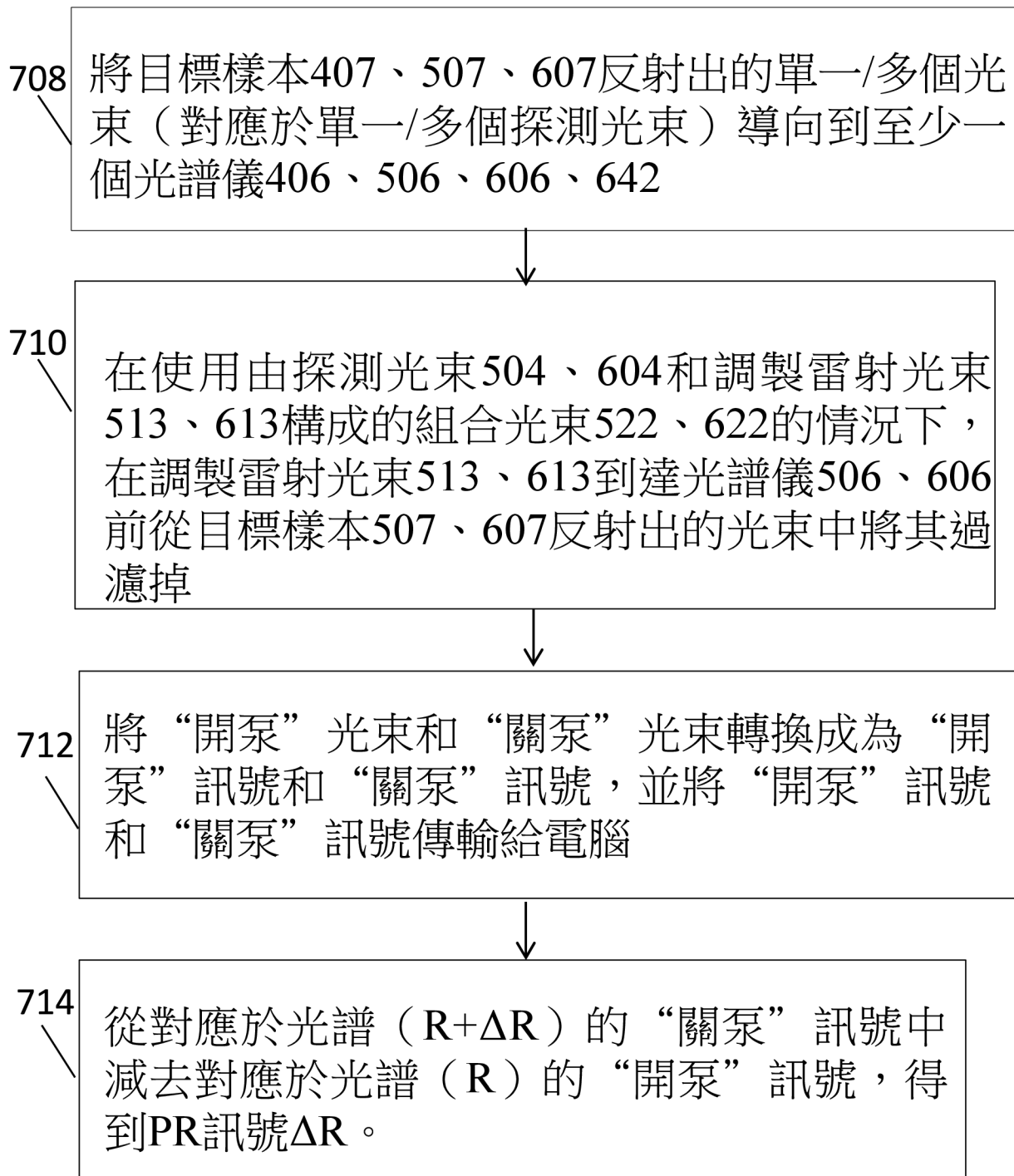


圖7 (繼續)