

205097

申請日期	81. 7. 23
案 號	Y105824
類 別	G02B27/00

公 告 本

A4

C4

(以上各欄由本局填註)

發明
新型 專 利 說 明 書

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

一、發明 名稱	中 文	光 折 射 系 統 及 方 法
	英 文	PHOTOREFRACTIVE SYSTEMS AND METHODS
二、發明 人	姓 名	(1) 喬治 A. 瑞古利克 (2) 艾諾. 亞瑞
	籍 貫 (國籍)	美 國
	住、居所	(1) 美國加州 90405 聖塔莫尼卡市第 29 街 2320 號 (2) 美國加州 91108 聖塔馬瑞諾市. 赫梅特路 2257 號
三、申請人	姓 名 (名稱)	亞科維公司
	籍 貫 (國籍)	美 國
	住、居所 (事務所)	美國加州 90404 聖塔莫尼卡市第 19 街 1653 號
	代表人 姓 名	

- 1 -

五、發明說明 (1)

本發明涉及光折射系統和方法，更確切地說，涉及使用光折射介質以形可讀的、永久性的、高分辨率的、以及高信息量的圖像的系統、裝置和方法，並且提供專業化的光學裝置。

光折射效應已公知多年，如 David M. Pepper 等人在題目為 "The Photorefractive Effect" 的文章中 (雜誌 Scientific American, 1990 年 10 月, pp62-74) 指出過的那樣。術語 "光折射" 只應用在電-光活性材料上，例如應用在一般稱之為鐵電材料上，這種材料對入射的電磁波能量的響應很大。所用的材料是厚度明顯大於薄膜和薄層的厚度的晶體，這種材料特別適合於真正的體積全息照像應用。在由 L. Solymar 和 D.J. Cooke 所著的書 "Volume Holography and Volume Grating" (New York, Academic Press Inc 1981) 中描述了出版日期之前現有技術中有關鐵電材料的作用和歷史。這一出版物不但討論了理論問題，而也討論了實踐問題，這些問題是在進行體積全息照像時一般要遇到的問題並且也是在特殊情況下在光折射全息照像系統中遇到的問題。

光折射材料具有能引起其折射率的光致變化的性質。可利用這種性質來存儲全息形式的信息，其辦法是在這種材料內部確立兩個相干光束之間的光的干涉。空間折射率的變化是通過電-光效應產生的，這種電-光效應是由內部電場產生的，而這個內部電場是由光激發電子的遷移和俘

205097

五、發明說明 (>)

獲產生的。雖然許多材料在某種程度上都有這種特性，但術語“光折射”只適用在那些對光波能量的響應顯著地迅速和突出的材料。這樣一些材料的例如包括 LiNbO_3 (鋰酸鋰)、 LiTaO_3 、 $\text{Li}_2\text{B}_2\text{O}_4$ (硼酸鋰)、 KNbO_3 、 $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ (KTN)、鋰酸鋰、鋇 (SBN)、鋰酸鋇鋇鉀鈉 (BSKNN 或 KNSBN)、 $\text{Bi}_{1/2}\text{SiO}_2$ (BSO)、以及 BaTiO_3 。

一旦了解了這種效應，就應該認識到，通過使用這種光折射效應和全息照像技術就能在這種材料中以折射率的點陣 (grating) 形式產按體積分布的圖案。然後借助於類似於另外的全息照像系統中的參考光束讀出所存儲的全息圖。然而，由於全息光柵是分布在一個體積上，因此在薄全息圖中存在的較高次衍射項被抑制了。

早期的使用光折射特性的重建議包含在援於 Fang-Shang Chen 等人的美國專 US3,544,189 中，其名稱為 “Holography Using a Poled Ferroelectrical Electric Recording Material” Chen 等人描述了電子是如何根據變化的光強沿鋰酸鋰晶體中的一電—光軸或 C 軸遷移的，其中的電子集中在低光強區並且確定了一個電荷分佈圖。局部電場通過電—光效應產生了折射率的局部變化，產生了分佈在整個介質體積內的折射率點陣形成的三維全息圖。Chen 等人還描述了如何通過使用不同的光束角度 (將晶體

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝·訂·線

五、發明說明 (7)

或光束連續轉動一個極小角度就能做到) 在材料的同一厚度平面內記錄多個全息圖。通過使用這些技術, 本領域的技術人員已經計算, 1 cm^3 的晶體在理論上能夠存儲 10^{12} 到 10^{13} 位信息。Chen等人承認, 按這種方式形成的圖像在它們將隨著時間的推移而消失的意義上不是永久性的(即為暫時穩定的), 且可由入射光改變。他們還建議, 通過將圖像加熱到至少 160°C 的方式可以擦除圖像。因為參考光束和目標光束都是入射到晶體的同一直面上的, 所以Chen等人的技術可形成透射模式的光柵或全息圖。

可改變摻雜物的濃度和類型來得到晶體的特殊期望的性質。可以移動晶體的光折射帶, 可以改變靈敏度, 並且可以增加或減少吸收(見W. Phillips, J.J. Amodoi, 和D.L. Staebler 的 "Optical and holographic Storage properties of transition metal doped lithium niobate", RCA Review, Vol.33, pp. 94-109(1972))。例如, 摻有 $0.05\% \text{ Fe}$ 的鉍酸鋰的典型光折帶在 400 至 800 nm 範圍內, 但借助於較高的摻雜濃度或者通過摻雜物在晶體內的氧化或還原, 就可以改變吸收和光折射性質。

所記錄的全息圖是平穩的、甚至在黑暗中隨時間而衰退這一事實, 導致了永久性全息圖的定影和顯影技術的開發。通過加熱晶體使離子移動成一個補償圖案, 然後諸電子基本上均勻地重新分配在整個體積上, 就可以使由電子

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

205097

五、發明說明 (4)

電荷圖案形成的暫時暫定的全息圖為永久性的。所用的方法是加熱包含暫時穩定的電子全息圖的晶體，於是重新分配的離子本身便取消子晶體中空間電荷的變化。然後將晶體冷卻，並通過強烈的照射擦除電子光柵，遺留下永久性的離子點陣以產生折射率變化。通過在升高的溫度下測到的外推擦除時間預計，有一個高達 10^5 年的壽命 (J.J.Amodei 和 D.L.Staebler "Holographic recording in lithium niobate", RCA Review, Vol.33, pp.71-93(1972))。

但如 W. Phillips 等人 (Supra) 所論及的，現在使用的技術導致了定影後全息圖的衍射效率和光折射靈敏度之間的一種基本上相反的關係。摻雜物濃度越高，電子施主越多，在輸出端的靈敏度和折射率變化越高，直到飽和的水平，這種情況也表示在 Yu. v. Vladimirtsev 等人的題目為 "Optical Damage in Transition Metal Doped Ferroelectrics" 的這篇文章中 [Ferroelectrics, Vol. 22, pp. 653-654(1978)]。但現有的定影技術會使全息圖的質量變壞，因此定影效率隨摻雜濃度的增加而降低。因此對利用光折射裝置存在著一個固有的工藝限制，即大大地限制了被定影的晶體中摻雜劑的濃度，並且因此限制了光折射效應的大小。如果要充分選擇這種類型光學裝置的潛在能力的話，就必須解決這一問題。

在 Chen 等人的這個專利之前同一作者有一個較早的專

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

2050917

五、發明說明 (5)

利 No. 3,383,664, 其目標在於光折射介質中進行數字信息存儲者。隨後的工作包括在 J. J. Amodei 等人的專利 No. 3,915,549 中, 它涉及使用摻鐵的鉍酸鋰晶體來改善靈敏度, 接下去是授與 W. Phillips 的美國 US3,932,299 號專利是關於在摻鐵的鉍酸鋰晶體中減少三價鐵 (Fe^{2+}) 以增加擦除靈敏度並進一步減少全息圖形成所需的時間。

J. P. Huignard 等人在名稱為 "Multiple Hologram Bulk Optical Storage Device" 的美國 US4,449,785 號專利中進一步闡述了使用透射模式和鉍酸鋰晶體的 Chen 等人的角度多路處理方法。在該專利中, 將透明電極固定到材料的所有面上, 並且在寫入期間這些電極的電短路的, 以便能防止在幾次存儲操作後折射率飽和。這裡的問題是沒有增加空電荷場的變化幅度, 為了得到高的衍射效率是需要這種幅度變化的。

M. V. Kukhtarev 等人在 "Holographic Storage in electro-optic Crystals. I. Steady State" (Ferroelectrics, Vol. 22, pp949-960 1979) 中導出了描述光折射效應的方程。對於一種載體, 單摻染劑類型樣品, 其中電子是唯一的電荷載體 (對於以前所述的材料而言, 一般是這種情況), 這個過程在穩態時由下述方程式表示:

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (6)

$$\frac{1}{e} \nabla \cdot \mathbf{J} = \frac{\partial}{\partial t} (n - N_D^+) = 0 \quad (\text{連續方程}) \quad (1a)$$

$$\frac{\partial N_D}{\partial t} = - \left(\frac{S I}{h \omega} + \beta \right) N_D + \gamma n N_D = 0 \quad (\text{變化率方程}) \quad (1b)$$

$$\mathbf{J} = e \mu_n n \mathbf{E} + k \beta T \mu_n \nabla n \quad (\text{電流方程}) \quad (1c)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = - \frac{e}{\epsilon} (n + N_A - N_D^+) \quad (\text{泊松方程}) \quad (1d)$$

$$N_D + N_D^+ = N_o \quad (\text{守恒方程}) \quad (1e)$$

在上述方程式中， N_D 是電子施主濃度； N_D^+ 是阱濃度； N_A 是非光敏離子的濃度； N_o 是總摻染劑濃度； $\mathbf{J}$ 是電流密度； $\mathbf{E}$ 是電場； I 是光強； β 是黑暗衰變常數； γ 是分解速率； μ 是遷移率； n 是電子密度； $K \beta$ 是波耳茲曼常數； S 是光致電離截面； ϵ 是介電常； e 是電荷； $h \omega$ 是光的光子能量； T 是溫度 (ok)；以及 t 是時間。

在現有技術中，全息圖通常是按透射模式借助於角度的多路傳輸寫入的，它是以不同的目標光束對參考光束的

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (7)

角度來貯存不同的全息圖的 (F.H.Nok, M.C.Tackitt, 和 H.W.Stoll "Storage of 500 high resolution hologram in a Li NbO₃ Crystal", Opt. Lett. Vol. 16pp 605-607(1991)), 或者是通過對每一個新的照射旋轉該晶體同時保持目標光束相對於參考光束的角度不變來存貯不同的全息圖的 (W. Phillips等人, 詳見上述。經常使用鉍酸鋰的原因是它的黑暗壽命長和它的固定光的能力。在 LiNbO₃ 中的大部分光折射工作是用摻鐵的晶體完成的, 其中的摻雜劑濃度最大為 0.015% F. H. Mok 等人演示了存貯含 500 個圖像的全息圖, 每個圖有一個不固定的折射效率, 在 1 cm³ 晶體中近似為 0.01 (F. H. Mok 等人, 詳見上述)。

或許可膚淺地假設, 可將早期的角度多路傳輸技術與隨後的固定和開發方法結合起來, 以產生能光學讀出的高密度全息照像存貯介質。但就我們所知的而論, 實用的三維信息存貯系統尚未實施。有許多相互關聯的因素能說明出現這種情況的原因, 這些因素包括在出版物 "Volume Holography and Volume Gratings" 以及 "Scientific American" 出版物中, 詳見上述。為了得到快的響應時間、靈敏度, 並且為了產生相當大的電場, 摻雜濃度應該很高, 但是如上所述, 不可能使相當高的折射效率的暫穩圖像相同的效率的情況下變成永久性的。此外, 還存在一些必須考慮在內的波的混合和耦合效應。正知 Solymer 等人

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝·訂·線

五、發明說明 (8)

所述，在光折射晶體中產生的全息圖本身就可能影響入射波能量並且和入射波能量相互作用，使起始的正弦光柵圖案變為非正弦的。以相對於沿 C 軸方向優選的遷移路徑的不同角度入射的波產生了散射，並且也產生了有不同衍射效率的全息圖。再有，當全息圖依次寫入但在同一體積內一起擴展時，按照現有的方法，後來的全息圖將要非均勻地降低先前的全息圖的衍射效率。對使用稱之為“K 空間”分析（K 是 Solymer 等人的“光柵矢量”）的角度多路傳輸類型數據存貯系統進行的研究表明，這樣一些因素決定了不可能以最佳的效率使用晶體體積。在一個角度記錄的全息圖，尤其是帶有高數據量的全息圖，將要對另一個角度的全息圖產生干擾，除非這些角度充分分辨或者信息有帶寬限制。

先前的研究確立了許多有用的單個技術，但就最終的產品而論，尚未取得實際的效益。例如，眾所周知的是，如果寫入和固定影在高溫下同時發生，則可形成一個較大的電子光柵，這將導致被固定的全息圖折射效率的增加。但正如下面將要說明的，被固定的光柵的缺點在於固定過程本身，而不在於起始的寫入過程，這一點已由 Vladimirtsev（詳見上述）獲得的大效應所表明。但在同樣高的溫度環境中不可能讀出全息圖，並且在環境溫度下的讀出需要對相當大的熱膨脹效應進行補償。還有，角度多路傳輸本身要求對寫入和讀出都有極為精確的定位系統

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (9)

，這是因為這樣的全息圖的視野極小的緣故。本發明引入了這些可用到這種極高溫度方法的特點，以獲得極大的固定的光折射效應。

通過使用剛剛討論過的同時寫入和定影的方法，R C A 小組成功地存貯了最高達 100 個全息圖，在摻有 0.02% Fe 的 LiNbO_3 中的折射效率最大為 30% (D. L. Staebler, W.J. Burke, W. Phillips, 以及 J.J. Amodei, "Multiple Storage and Erasure of Fixed Holograms in Fe-doped LiNbO_3 ", Appl. Phys. Lett, Vol, 26, pp182-184(1975))。這些結果和其它試圖再現該實驗的小組得到的結果好得多。通過和 W. Phillips 的私人通信並且和他一起重建該實驗設備，我們相信他們是在無意中使用了他們的加熱系統的，同時寫入全息圖的方式現在被認為是在寫入和固定高分辨率、高折射率全息圖這方面是很有益處的。

光折射效應產生微小的折射率變化，其數量級為 10^{-14} ，如 R C A 的工作所示，這是因為可能產生的實際的內部脫位的大小受到限制的緣故。因此，如果一個被記錄的全息圖不能有限地用具有現在可達到的雜訊比的裝置讀出，就不可能有效地發揮光折射介質的潛力，或者就必須使用更加靈敏和更加昂貴的信號檢測器。

因此，在設計改進的光折射裝置和系統方面存在一系列必須考慮的特殊因素。這些因素包括加入的摻雜劑的數

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

205097

五、發明說明 (10)

量和性質，敏感度張量，介質的光電性質，光波長和介質光折射範圍，介質厚度，以及擴散和漂移效應。所有這些因素以及這些因素中的任何一個都影響全息圖的分辨率以及檢測或響應包含在介質內的信息或圖案的能力。

但是，光射介質的理論性能與現代的成像技術結合起來，就為數據的存貯和處理提供了獨特的潛在能力。具有和錄像設備、C D（音頻）的以及唱盤的尺寸相比擬的尺寸的介質（但存貯能力的數量級較大）可能是實際可用的。再有，可能為高清晰度電視要求的較大的帶寬提供一個光折射介質。但對實際應用而言，讀出這個信息的系統不但應是經濟的，而且應該是電可控的，以便得到高的數據速率和寬的帶寬響應。

上面提到的雜誌 Scientific American 中的文章描述了這些新研究和開發的光折射介質的新的並且令人震驚的應用。光折射材料是非綫性光學裝置的普通級別，這是近期的研究和實施的課題。對這種現象的理解的改進以及改進的處理方法給出了對於許多新裝置和系統控制或利用波能量的傳播（不管是否是在成像之中），通訊或數據處理系統的可能性。和使用光折射性的相對來說有限數目的裝置對照，大量涉及到光折射性質和全息照像系統的研究表明，在理論和實踐之間存在著差異。這種情況進一步由 Solymer 等人（詳見上述）觀察所證實，使可能實現這些新的應用的信心減少。Slymer 等人（詳見上述）討論了

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

205087

五、發明說明 (11)

許多可能的光折射裝置中的某一些，這些裝置使用了出版日期之前已經考慮過的體積全息照像方法，諸如大規模的貯存器、耦合器、透鏡、以及多路傳輸器，但直到現在尚未出現在商作上適用的這種類型的裝置。當人們考慮到，光折射材料要在電子和離子的微觀量級上（和大得多的光路變化的顯微分辨率相比或者和貯存盤上的磁圖案或磁—光圖案相比）發揮作用時，顯然對高容量貯存器而言存在著極大的潛力。但正如 Solymer 等人所指出的（詳見上述），還存在著許多其它的可能性，它們來自於產生和修改單色波能量和光學圖像的能力。假如規定了光折射晶體的體積性質，現在可得到的不同材料，以及在現代技術中對性能和低成本的一貫要求，則形成高分辨率，高密度、易於讀出的基本上永久性全息圖的統一作法對該領域的擴充提供了重要的機會。

按照本發明的系統和方法利用了兩個獨立的重要概念中的一個或兩個。（一是通過在兩個空間圖像或數據平面與全息照像光柵波矢量之間建立正交性，將共存的並按體積分布的全息圖之間的相互作用減至最小。這是通過按反射模式記錄全息圖實現的，其中使用了逆向傳播的目標光束和參考光束，並且對每一全息圖使用了不同的波長。寫入光束從相對的側面衝擊貯存介質，並且在精確逆向傳播的情況下兩個光束分開角度剛好是 180° 。另一個概念是，通過控制內部和外部電場以及固定過程的溫度，使光折射

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (12)

晶體中寫入的全息圖被永久性地貯存或“固定”，折射效率沒有顯著的損失。

對於使用光折射材料的許多應用，在這兩個概念之間存在著一種協合作用。由正交性的組合使用產生的全息圖之間干擾的減少以及永久性的固定大大地有助於將光折射裝置擴充至各種各樣的應用場合，例如大規模的數據貯存裝置、光學處理器、關聯器、以及濾光片。

將圖像形式的信息作為全息圖貯在體積光折射材料內，每個全息圖都是通過在一個由圖像形式的數據進行空間調制的目標光束和一個平面的或略呈球形的參考光束之間的干涉寫入的。按照本發明，選擇反射模式的幾何布局來利用這種材料的這些性質，在目標光束和參考光束在逆向傳播布局中直接相對的情況下可得到最佳結果。為了得到最大的光柵強度，使光柵的波矢量 K 平行於晶體的 C 軸或光軸。還可以利用在 K 矢量和 C 軸之間的非共線性來進行全息照像貯存，雖然系統設計有某些好處但效率有些減小。通過對每一個圖像使用不同的窄帶波長可將不同的全息圖分開，如果期望，這些波長分開的距離可以做得極小。目標光束可以攜帶數字式數據或者圖案變化形式的模擬圖像。當使用未經調制的均勻波作為目標光束時，全息照像的低干擾和窄帶寬特點在提供波長特殊的反射濾光片方面是非常有用的，例如可用於光譜學、成像濾光片，波長的多路傳輸或分離，以及光學調諧器。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (17)

這個正交的光學數據貯存方案的低干擾特點使貯存大量數字式數據並平行的快速讀出成為可能，並且許多分開的全息圖可貯存在一個窄的波長範圍內。為了重新構造被貯存的全息照像，用一個沿起始寫入光束軸入射的適當波長的讀出光束照射該晶體。除留下固定方向外，通過在整個波長範圍掃描該照射源，就可以極其迅速地讀出晶體中貯存的整個信息。

在本發明中使用的材料是經過選擇的一些光折射晶體，該晶體要有足夠大濃度的電子施主點位、電子阱、和熱遷移離子。這些離子對於固定或者轉換暫穩態電子光柵成永久性的離子光柵是必要的。雖然可以使用各種不同的光折射材料，但最好使用其中的內部擴散場大致可與受限制的電子空間電荷場相比的那些材料。此外還期望有大的光折射效應以便增強本發明中使用的寫入、固定、和顯像過程。適合於本發明的材料包括鋰酸鋁，其中的摻雜劑水平為0.1%或更大些。逆向傳播的反射模式的布局允許使用這些能增加晶體的光折射靈敏度的較高水平的摻雜劑。

在電子光寫入後，電子分佈由於在讀出期間照射時的熱激發和擦除而恢復到均勻的分佈狀態。出於這種理由，通過用永久性的離子光代替暫穩的電子光柵來固定全息圖這個步驟對實際的裝置而言是必要的。按照本發明，在固定的與預固定的光柵強度之比（固定效率）方面的明顯改善已通過聯合使用反射模式（逆向傳播）的佈局，適當的

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (14)

摻雜劑濃度，以及電場控制得到證實。這些過程的改進通過下述物理方程式予以證實，此些方程式會在稍後加以說明。

下面是在光折射材料中獲得光折射效率、永久性的全息照像光的方法中所用步驟的簡單總結。要注意，如果比最佳結果差一些結果是可以接受的話，則可省略或改變某些步驟。在寫入任何光柵之前，將晶體完全擦除，方法是加熱到 230°C 左右至少 30 分鐘，同時通過色在金屬箔的方法使其電短路。這一過程用於中和內部的和表面的空間電荷場並且重新分配離開陷阱點的所有電荷載體。在這時，晶體就有了均勻的電子和離子的空間分佈。

在寫入之前，用例如抗靜電液體，或碳或金屬薄膜之類的透明導電材料覆蓋所有的表面。然後用物光束和參考光束照射晶體以便存入全息圖同時短路。改變晶體的取向，使光柵波矢量平行於 C 軸以便使折射效率增至最大，當然，如果比最佳效果差一些的效果就足夠了也可以使用其它的一些取向。最佳折射效率的照射能量隨晶體的材料特性而變化。照射之後，該晶體就包含了電子空間電荷光柵，它跟踪在晶體中建立的光干涉圖案的空間分佈。

然後將抗靜電塗層小心仔細地除去，以便使固定步驟之後進行加熱時不致沾污晶體。通過將晶體包在金屬箔內再次使晶體短路，並且將其加熱到固定溫質，一般在 160°C 下加熱幾分鐘。在這個步驟，離子發生遷移以補償電

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

205097

五、發明說明 (15)

子空間電荷場，所以離子光柵仿製了電子光柵的空間分佈。然後，將晶體冷卻到環境溫度，從金屬箔上除下，並且通過將晶體暴露於強光下擦除電子光柵而進行顯像。

在顯像過程，擦除了晶體中的原來的電子光柵，只留下永久性的離子光柵。在此期間，在存在大直流電場的情況下可以獲得改善的結果。一種方法是加一個外部的直流電場，同時擦除電子光柵。另一種優先的方法是，保持晶體開路並且使晶體內具光電效應的光電場在強光照射期間累積起來。這些步驟的結果是在晶體中貯存了一個永久性的，離子體積全息照像光。

寫入光柵同時進行短路，固定光柵同時進行短路，用一個場來顯像這一過程是對現有技術獨立產生的改進。本發明所表現的改進對於反射模式、逆向傳播的光柵最為突出；當然，對現有技術的提高是針對非逆向傳播的反射並且也是針對透射模式光柵觀察到的。我們發現，其它的晶體類型（例如鉍酸鋰）也是適合於這個過程的材料。

按照本發明的數字式的和模擬的貯存系統能夠貯存的數據密度大於現有技術。可使用光折射晶體在逆向傳播的佈局中貯存波長多路的多個全息圖，其中的波長分開為埃量級。每一個全息圖可包含一個高空間分辨率的圖像（其典型的尺寸為微米量級），或者該圖像可為由數字式的1或0位組成的一個2維列陣。在數字式的情況下，可用波長掃描光束依次記錄數據，或者使用按期望的圖案空間

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

205087

五、發明說明 (16)

調制的強力光束發行記錄數據。

為了進行讀出，要使用以一個或多個記錄波長直接照射晶體的光源。雖然全息圖的高光譜分辨率利用了期望的相干源，但這個源却不必要是相干的。這個讀出源可以一個可調諧的源，或者可以是針對每個期望的波長的一批可轉接的單個源。如果圖像的像素分辨率為 1000×1000 （例如來自一個大的 CCD 陣列），並且 1000 個全息圖要以不同的波長來貯存，則在該晶體中可貯存 10^9 個數據位，可以以一般電子機械式系統不可得到的速度對這些數據位並行存取。在這樣一種系統中，存取速度會受到讀出照射波長的掃描速度或開關速度，以及相關的處理電路的限制。

按照本發明的體積全息照像裝置的數據貯存能力非常高（理論值為每 cm^3 10^{13} 位），大大超過了可以得到的高速並行寫入和讀出裝置的能力。空間光調制器和讀出矩陣陣現在只限於 10^6 位左右、雖然這些裝置一直在充實發展，但它們不可能達到光折射介質的圖像密度。因為，通過電的或電一機裝置，利用介質的相對運動或光束的相對運動來記錄或複製多個部分的圖像在本發明的範圍之內。復蓋幾個小時節目的高清晰度電視信號也可以記錄，例如，尤其是在使用了視頻壓縮和去壓縮技術的情況更可以記錄。

除了存儲器的應用之外，根據本發明系統的另一實例

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (17)

是一個用於圖像分析的校正器。圖像富立爾變換的全息圖儲存在光折射晶體內。通過（以適當波長光束）反射所儲存變換發出的的一個物體的富立爾變換，獲得兩個富立爾變換的乘積。該乘積的富立爾變換給出所期望的校正結果。可以通過這種方式以不同波長儲存很多參考全息圖，而它們對於物象的校正則可以簡單地通過調整物象波長和選擇最佳匹配來獲得。

本發明窄帶全息圖存儲特性的另一種應用在於一些全息圖光學濾光器。這些濾光器具有小於1埃的帶寬，在諸如天文學、光學通信以及計算機等領域中，提供重大的新前景。這些濾光器通過在所需波長下的體積光折射晶體內記錄未調制的逆向傳播幾何全息圖來制備。該濾光器具有零點幾埃的測量帶寬，根據濾光器的厚度，雙雙在所需波長上進行反射。通過在寫入期間改變光束的取向，這些全息圖濾色器可以在任何方向上反射入射光。也可以通過在晶體中，或者以重疊的結構、或者以空間上分離的結構，存儲一種以上波長的復合金體圖，來構成一些復合波長濾光器。

上述濾光器在改進的太陽天文學望遠鏡中具有特殊的應用。例如利這種全息圖濾光器作為光學成象系統的一部分來反射光，可以觀察到在H α 綫（空氣中為6562.8埃）下的太陽活動性或任何其它所關心的吸收波長。晶體的中心波長可以通過改變其入射角、溫度、或者在壓電

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (18)

或電光晶體情況下改變其電場，來加以調整。這使得人們能夠以此現有設備（如 L y o t 濾色器）更高的效率、光譜分辨率和綜合性能實時地觀察在某一特定波長下太陽的活動性。

雖然以上已經提到的是平面反射濾光器，但也可以使用其它變化的形式。通過當記錄全息圖濾光器時採用球面波作為寫入波束的一種，可以製作一種頻率選擇反射器，這種反射器也可以使入射聚焦或者散焦。而且，具有不同波長的多個反射器可以被寫入同一個晶體內，每一反射器具有其自己的焦點和長度。

本發明提出的窄線幅濾光器對光學通信系統中的波長分度復合和分有著重大的貢獻。大量的全息圖（各個全息圖反射不同的波長）被串行地而且相對於主光路以不同角度地設置。利用這種裝置可以將多色光束分解為其獨立波長的各分量，或者通過反轉光束的方向得到相反的結果。全息圖濾光器的高選擇性，使得波長信道可以相距很近地設置在一起，因而極大地提高了在一根光纖上同時攜帶的信道數。

根據本發明的寫入全息圖光柵的選擇性濾光器的特性在激光系統和儀器製造方面也是有用的。這些非常高的分辨率、高精度反射器使得激光器的結構也具有相應的高分辨率和高精度發射波長。特別地這種濾光器可被用作為外部空腔結構中的反射器，以便精確地控制半導體激光器的

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (19)

持續波長。該濾光器還可以被用作分光計、圖像光譜分析儀以及波長分度復合系統的調諧器中的調諧部件。

結合附圖參考以下敘述，將能夠獲得對本發明更好的理解。在圖中：

圖 1 是一種體積光折射晶體的總示意圖，包括圖 1 (a) 和 1 (b)，其中圖 1 (a) 是反射模式，表示光柵用一給定波長的逆向傳播波來所記錄；圖 1 (b) 表示讀出模式中，當原參考光束被目標光束照亮時，光柵反射該原參考光束的再現；

圖 2 是在光折射晶體中光柵形成的示意圖，以利於解釋說明的方式給出，其中光參考圖案引起電荷遷移，造成定域化空間電荷場以及隨後通過電—光效應造成的折射變化率；

圖 3 是光折射晶體中能級的理想化示意圖，其中電子從施主格點被光激發到導電帶，它們在導電帶漂移或擴散，直至它們被重新捕集到收集格點時為止；

圖 4 是根據本發明的用於在光折射介質內寫入、固定和顯影全息圖像的方法的各步驟框圖；

圖 5 是本發明提出的逆向傳播反射模式全息圖的理論上的反射率（衍射率）的示意圖，該反射率是耦合系數 k 和晶體厚度 l 的乘積；

圖 6 包括兩個 K —空間圖，圖 6 (a) 是反射模式全息圖的示意圖，該全息圖具有在 K —空間中占半個錐角 ϕ

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (50)

i 的高分辨率物光束；圖 6 (b) 表示利用圖 6 (a) 結構寫入的第 i 個高分辨圖象方向角全息圖的合成光柵波矢 K_i ；

圖 7 是 K - 空間示意圖，有助於理解在先有技術的角復合全息圖中串擾和干擾問題是怎樣出現的；

圖 8 是表示根據本發明怎樣限制串擾和通過正交數據存儲器改進記錄容量 K - 空間示意圖；

圖 9 表示在正交數據儲存器中保持相同副波瓣抑制水平所需要的物光束中的理論最小可分辨光點大小的關係曲線圖，其中光點大小作為縱軸，而波長區分為橫軸；

圖 10 是表示根據本發明利用正交數據儲存器技術在光折射晶體中寫入全息圖象的系統的框圖；

圖 11 是根據本發明的用於讀出儲存在所備光折射介質中的圖象的系統的框圖；

圖 12 是根據本發明利用關聯激光器陣列讀出圖象的系統框圖；

圖 13 利用本發明提出的逆向傳播反射模式幾何圖形，理論反射率（衍射率）相對於在 6417 埃 2 mm 厚的光折射（鋯酸鋰）晶體中記錄的單個全息圖的波長的關係曲線圖；

圖 14 是利用逆向傳播反射模式幾何圖形測得的在 6417 埃 2 mm 厚的鋯酸鋰晶體內記錄的單個全息圖的反射率與波長的曲線圖；

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (>/)

圖 1 5 包括兩組各有三種波形 (A)、(B)、(C) 的波形圖 1 5 (a) 和 1 5 (b)；圖 1 5 (a) 用於表述如何在正交數據儲存器內因吸收而實現旁瓣縮減效應的；圖 1 5 (b) 表述在正交數據儲存器內因部分不連續性而出現的旁瓣縮減效應；

圖 1 6 表示利用本發明提出的正交數據儲存器方法測得的儲存在 2 m m 厚鉍酸鋰晶體內、全息圖之間相隔 5 埃波長的 3 2 個高分辨率全息圖的反射率的曲線圖；

圖 1 7 表示大量高分辨率、正交數據儲存器全息圖是如何能夠在穿過晶體表面的柵格上重覆的；

圖 1 8 為一方框及示意圖，表示根據本發明的利用光折射介質作為儲存元件的一種光學校正系統；

圖 1 9 包括光學校正系統中的兩種理想光束路徑，圖 1 9 (a) 表示在系統中的記錄功能，圖 1 9 (b) 表示在系統中的讀出功能；

圖 2 0 表示根據本發明響應在 2 m m 厚鉍酸鋰圓盤中寫入波長為 H a (空氣中為 6 5 6 2 . 8 埃) 的全息圖濾光器所測得的光譜圖；

圖 2 1 表示響應代表先有技術中最佳性能的 H a 波長 L y o t 濾光器所測得的光譜圖；

圖 2 2 表示用於天文觀測的一種波長選擇全息圖濾光系統的組合透視示意圖；

圖 2 3 表示本發明提出的寫入一全息圖 H a 濾光器的

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (5/5)

一個實例；

圖 2 4 表述本發明提出的濾光系統是怎樣與天文觀測望鏡結合使用的；

圖 2 5 是一組合示意框圖，表示可能被寫的具有視波長而定的焦點的全息圖透鏡；

圖 2 6 是一個多全息圖聚焦透鏡系統的簡化透視圖，該系統具有由改變照明波長而控制的焦點電子控制器；

圖 2 7 是 Cassegrain 望遠鏡的部分示意圖，該望遠鏡帶有集成的全息圖光學元件，它起到一個窄帶濾光器以及一曲面鏡的作用；

圖 2 8 是表示根據本發明在一激光系統中頻率選擇輸出耦合器的使用的簡化框圖；

圖 2 9 表示一個具有在光折射料中寫反射光柵的分佈反饋激光器，該光折射材料也被摻雜，以便使它成為一種激光放大介質；

圖 3 0 是一種簡化示意圖，表示根據本發明的光學波長分度復合器和分解器系統，該系統具有對應各個波長信道空間上分離的全息圖光柵；以及

圖 3 1 是代表一種光學波長分度復合器和分解器系統的簡化圖，其中復合器包含對應於同一體積內各波長信道的成角度分離的全息圖，而分解器包括在同一體積內的全息圖聚焦鏡，用以將每一波長信道光束聚焦到其對應的檢測器上。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (2)

高效反射模式全息圖系統

參照前述本發明背景中引證的文章與專利，將有助於很好地全面地理解後面對本發明的各項技術方案的實例的描述。儘管方法與裝置實例是自解釋性，但透過理解對控制整個狀態和光學物理等式的分析，將能更好地理解本發明與先有技術的區別以及本發明潛在的細節分支。在這一意義上，後續的術語目錄是用來定義在這部分中通用的各參量：

術語目錄：

K	光柵波矢
k	光柵波矢幅度
A	光柵波長
λ	入射波長
N D	施主格點密度
N D +	接收器格點（捕集）密度
n	電子密度
N A	非光敏補償離子密度
N o	總摻雜劑密度
J	電流密度
E	電場
I	光強度（空間上變化的）
m	調制系數

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (2/4)

P	電荷密度
β	暗衰減 (熱衰減) 常數
γ	電子捕集重組合速率
μ	電子游離度
μA	離子游離度
$k B$	Boltzmann的常數
s	光離子化橫截面
ϵ	材料的介電常數
$h \omega$	每光子入射光能量
σP	光導率
σd	暗導率 (通常比光導率低得多)
T	K氏溫度
t	時間
$E d$	在環境溫度下的擴散場
$E d (T)$	固定高溫 T 下的擴散場
$E q$	有限空間電荷場 (可在晶體內支持的最大空間電荷場)
E_0	直流電場
E_1	正弦電場變化, 它是空間電荷電場
k	耦合常數
λ	光折射晶體厚度
$J p v$	光致電壓的電流強度
$E p v$	光致電壓場

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (55)

$k p v$	光致電壓常數
α	晶體的吸收常數
n_0	折射的容量系數
n_1	由於光折射效應產生的折射調制正弦系數
e	電子電荷
$r e f f$	有效電光系數

圖象儲存和讀出實例

圖 1 為根據本發明的光折射材料中圖象儲存和讀出的一般情況的一個例子。在圖 1 中，所示光折射晶體被切成其寬面垂直於其最佳電子遷移方向（C 軸方向）且其厚度極小（即在本例中大約為 2 mm）的幾何形狀。一種低於其居里溫度的材料，或者室溫下相對於鐵電相位喬遷的立方晶格，如 $LiNbO_3$ ，被用在本例之中。這種材料具有極強的摻雜劑量級，比如 0.025% 或更強的離子，通過兩種離子化狀態之間的平均可建立高於給定的波長範圍，如 400 至 800 nm 的光折射靈敏度。這種材料具有一些所期望的基本特性，如：透光性、電子施主和電子阱的高濃度、熱游離離子、以及產生很大的內部光致電壓場的能力。

為了向圖 1 中所示的晶體 10 中寫入一個全息圖，將一放大物光束 12（它在本例中形成一基本平面型波前）導向成相對於晶體 10 的一個寬面方向，而一個同樣為平

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝：：：：：訂：：：：：線

五、發明說明 (26)

面型的參考光束 1 4 則以逆向傳播結構導向為朝向相反寬面方向。兩個光束 1 2 和 1 4 為單色的，即在相同的波長 λ 上，在本例中平行於 LiNbO_3 晶體 1 0 的 C - 軸。利用其它一些光折射材料，C - 軸的較佳方向可以不必平行於兩個逆向傳播的寫入光束。這兩種寫入光束產生干擾且在晶體中形成一個正弦干擾波形，它由下式給出：

$$I(Z) = I_0 [1 + m \cos(Kz)] \quad (2)$$

其中 I_0 為直流 dc 強度， m 為調制系數， K 是干擾波形的波矢 K 的幅度， Z 則沿干擾波形波矢的方向，如圖 2 所示。物光束中更多重覆空間密度調制可以被分解為一種平面波的有角光譜，這在後續部分將討論。

回過來參照圖 1，這兩種寫入光束的干擾波形被存儲在光折射材料中作為一種系數光柵全息圖 1 6。當具有光柵 1 6 的材料 1 0 被具有相同波長且與寫入光束之一的方向一致的一個光束 1 8 照亮時，則會複製出另一光束作為反射波 2 0。採用本申請中提出的技術，這一全息圖光柵是固定或製成永久性的。

光折射晶體 1 0 包含電子施主和阱格點，它們通常是通過離子化或摻雜劑離子的減少來形成的，如圖 3 中所示的能級。電子從施主格點 N_D 中激發到導電帶，在導電帶它們可以遷移或擴散，直至在接收器格點 N_D^+ 中被重新

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (7)

捕獲時為止。這一過程連續進行，直到在暗區電子收集到最大密度而在亮區具有最低密度時為止。回過來參照圖 2，現在在晶體內存在一種電子空間分佈，具有如波形 (a) 的光干擾波形一樣的空間變化形式。由於電荷分佈產生一電場，晶體產生出一個內部空內電荷場 (c)，它正比於沿 K 方向，即沿垂直於干擾波形或表面的方向上電荷分佈 (b) 的綫積分：

$$E_{sc} \sim \int p_{sc} dz \quad (3)$$

其中 p_{sc} 為空間電荷密度，或波形 (b)。該空間電荷場通過晶體綫性電一光效應起作用，產生 n_1 ，一個折射的空間變化係數：

$$n(z) = n + n_1 e^{ikz} + n_1^* e^{-ikz} + \dots \quad (4)$$

其中 n_1 正比於 E_{sc} ，如圖 2 中波形 (d) 所示，典型地， n_1 是非常小的，在 10^{-4} 的數量級上。這種係數變化、或者相位光柵，包括了來自原物和參考光束的全部信息。通過用參考光束重新照亮，可以重新構成物光束。

由於這些材料中施主與捕獲的高濃度，可以通過利用

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (58)

各全息圖的不同角度和／或波長將多重全息圖儲存在同一體積之中，這些全息圖也可被用來存儲數字信息，允許存儲那些能通過各種全息圖進行的波長掃描迅速讀出的大量信息。

利用在這些材料中形成電子空間電荷光柵相同的原理，（不均勻地）照亮該晶體以讀出儲存的全息圖也將通過使電子朝著均勻分佈的方向重新分佈，來將其擦掉。甚至讀出光束密度可比用於寫入的光束密度低得多，光柵最後也衰退到一種不能用的水平。而且，即使一直保持在暗區，熱效應也將會引起光柵衰退。因此，為了使這些全息圖在很多應用中都能使用，需要找到一種方法“固定”這些全息圖，即使得全息圖持久保持，以致它們不被光照而擦掉。

由 W. Phillips 等人做出的在前實驗表明，LiNbO₃，由於存在熱游離離子，它能提供很好的自我固定。但是，其反向效率或預固定至後固定折射效率的速率很低，通常約為 1% 這嚴重地限制了可被儲存全息圖的數量和對於大光學儲存器及有關應用而言所必須獲得的信噪比。

用於寫入、固定、顯影的過程

在數據儲存和其它應用中完全實現的反射模型方案的潛力，是採用連續的處理步驟實現的。這些步驟提供了一些高耦合常數，將光柵永久性“固定”在至少其原有值的

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (59)

相當大部分值上。儘管在後續過程中也可能會使用其它材料，主要的努力是整個或部分地在 Fe - 摻雜的 LiNbO₃ 中進行的。此外，這些步驟在產生永久全息圖光柵或在全息圖的綜合折射效率的改進方面都獨立地作出了貢獻。儘管能理解到的改進已經在透射模型下被觀察到了，但這些過程最好在反射模型幾何圖形下起作用。該處理程序以概括形式示於圖 4。

圖 4 中所示出的這一方法的三個主要步驟（寫入、固定、以及顯影）都分別對加強從光干擾波型中產生永久離子光柵的方法有貢獻。這些步驟的任意組合可被用來獲得有用的結果。例如，在不需要額外改進的實驗中，在寫入步驟時首先短路的步驟已經被省略了。

寫入

通過使用清潔的未處理晶體，如 0.1% Fe - 摻雜的 LiNbO₃ 來進行後續處理，使每一全息圖的電子空間電荷圖案的幅度變為最大。在任何寫入之前，通過對晶體電短路並將其在大約 230℃ 溫度下加熱至少 10 分鐘，來擦除光折射晶體的任何駐留光柵。在加熱前，用金屬箔裹緊晶體將其短路。

(a) 在室溫下，用一種透光和導光膜包住晶體。在此描述的實例中，抗靜電液被用來形成這種透明導電膜。也可使用其它一些覆蓋材料，例如薄碳或金屬膜。該覆蓋

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (70)

電短路使晶體接通，以防止其內部建立起大的內部電場但仍允許全息圖被寫入。薄覆蓋層是用浸漬在液體中的刷子擦拭晶體而無損地加上的。覆蓋後的晶體然後被送去乾燥。

(b) 然後全息圖（一個或很多）在環境溫度下被寫入透光但導電的晶體中。如果一種以上波長的復合全息圖要以大致相等的折射係數寫入，各自的曝光時間是根據一個比例表變化的，它是密度的函數，以便使曝光相繼縮短。典型地，使用 $1 \text{ W} / \text{Cm}^2$ 光束密度，曝光時間為 10 秒鐘，每一全息可達到飽和水平。

(c) 然後經過擦洗，（用丙酮）除去抗靜電液體或其它導電覆蓋層，最大限度地儘可能限制後續步驟中的化學反應。

儘管這一步驟的全部益處在於實現固定的反射模型全息圖，但是如果不需要永久光柵時，這一步驟本身可以提高介穩態全息圖的折射效率。而且，如表 1 中所預期的那樣，在透射模型中也能實現折射的放大，使其有較高百分比的增加。

固定

通過使用電場控制以及受控加熱，從介穩態光柵產生永久但不可讀的全息圖。在先有技術中，使用 LiNbO_3 ，在透射模型中寫入的全息圖通常利用加熱至大約 15

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (7)

0℃ - 200℃而轉換成永久離子光柵。利用後面描述的本發明的步驟，轉換效率，即永久相對於介穩態光柵空間電荷場之間的比率，能夠大幅度地得到改進。儘管本發明的過程在LiNbO₃中的透射模型光柵和其它具有較低摻雜劑水平的晶體中也已經改善了轉換效率，但它在高Fe - 摻雜的LiNbO₃中的逆向傳播反射模型全息圖中取得了最佳效果。該過程如下：

(a) 清洗晶體，作為一種預防措施，以避免任何化學反應污染，然後通過將其緊裹於金屬箔之內而電短路。

(b) 然後將被短路的晶體很快加熱到一固定溫度，在一定時間期間中（取決於短路物質的熱導率）離子變成游離的（對這些實驗中使用的材料而言，在大約160℃時能獲得最佳結果）。對於鋁箔包裹而言，大約2到3分鐘就足以獲得晶體的內部熱穩定化。這一加熱步驟允許熱游離離子重新分佈它們自己，所以，它們使電子空間電荷分佈中和化，成為一個光敏的相反電荷的複製光柵。由於將離子空間電荷場 $E_q A$ 限制到可以擴散電場 $E_d(T)$ 相比，這些離子能夠重新分佈，完全中和電子、介穩定空間電荷。因為晶體各處是電荷平衡的，所以在折射係數中沒有淨電荷存在，全息圖是不可讀的。

(c) 然後通過將被短路的晶體迅速從熱源處移開而空氣冷卻到環境溫度而使其淬冷。最大冷卻速率由介穩態光柵的熱消除以及在固定處理後可觀察到的綜合光折射效

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (77)

應的減小來確定。

同時的寫入與固定

通過在材料的固定高溫下寫入光柵，可以將寫入和固定步驟組合起來。通過加熱到 230°C 且至少短路 10 分鐘以擦去任何可能駐留的光柵來制備晶體。用於記錄和固定全息圖的過程如下：

(a) 在室溫下，用諸如抗靜電液或薄碳或金屬膜這類的透光導電膜完全覆蓋晶體。該材料必須能夠經受得住加熱至大約 160°C 的固定溫度。

(b) 晶體在真空室內被加熱到 $130^{\circ} - 160^{\circ}$ 的固定溫度，以減小寫入期間由於熱對流所引起的光柵活動和相位不穩定性。

(c) 全息圖（一個或許多）被寫入短路過的晶體中。

(d) 晶體馬上被冷卻回到室溫之下。

顯影

在定影後，晶體以一電子空間電荷場形式以及一永久的互補的電荷離子光柵形式，有其暫時穩定的光柵，在顯影中，暫時穩定的場被中和，只留下永久的離子光柵，在先有技術中，晶體內充溢著光輻射，而使電子光柵回復到一均勻分佈。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (77)

增強顯影過程，所以當照射晶體時，通過加上一外電場或使其受輻射照射而產生一大的光電場就會儘可能完全去殘餘的電子光柵，主要結合發明所用的第二種方法，它涉及到選擇一種大光電效應的光折射材料，諸如一具有高摻雜量的 LiNbO_3 晶體。為了有效和最佳顯影，有限的電子空間電荷場 E_q 應小於光電場 E_{pv} 和擴散場 E_d 的總和。而材料的性質（小於 $10^{18} / \text{cm}$ 的電子阱濃度）和電動勢之間的關係有助於此目的。

(a) 在定影步驟後，晶體進行了仔細和完全地清潔，這樣該晶體是電絕緣的。晶體也保持開路，以便在材料內擴大成大的光電場。

(b) 開路晶體然後用一強光源進行均勻照射，對開路晶體來說，地主址內的電子是敏感的。光源基本上均勻而不需要相干，可用足夠時間曝光來重新分佈電子而抹去暫時穩定的電子分佈，最好做到通過逆向傳播的反射模式幾何形狀開路照射以及有限的電子阱濃度，且同時在沿著晶體的 C 軸，形成一接近 50 至 100 kw / cm 大的光電場。該步驟的總曝光為至少用於寫入初始光柵的曝光。在顯影過程後，只有代表貯存激光全息圖的穩定離子圖仍然留在折光晶體內，而且這些離子圖通過光電效應的作用，產生一折射率的分佈圖形，在普通的激光全息攝影中，用一讀出光束就能讀出該圖形。

此處所公開程序的一重要結果是與先有技術相比，已

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (94)

取得了一從暫時穩定光柵到固定光柵的更大轉換率的改進值。而在過去，定影後的光柵衍射效率係為暫時穩定電子光柵效率的 10%。而本發明的技術可提高此效率到 80% 或更大，因此，對一給定的應用，較薄材料足於產生相同的衍射率，好處在於相應減小了吸收損失，隨著材料厚度的增加，衍射率也就愈高，就能獲取固定的全息圖。

有了這些結果，這種首屈一指的产品及其應用變得實用，該方法據信也提供了首次利用該產品具有增加光折射靈敏的高摻雜物質。

通過參照圖 5 可更好理解，假定沒有吸收，反射係數（衍射率）作為 k 和晶體厚度 l 的乘積之函數，借助依據本發明的程序就能取得固定光柵中 k 的主要增加，此處， $K \text{ FIXED}$ 值在 5 到 20 cm^{-1} 的範圍內，具有 $-K \cdot l$ 乘積約為 3.0 就可實現接近單一的反射係數或 100% 的衍射率，目前已能取得一合理的厚度，譬如幾個毫米的厚度。

在討論各種不同材料或方法的光柵強度相比較時，最好比較耦合常數 k 而不是衍射率，因為 k 與晶體厚度有關，對於無吸收的晶體中的逆向傳播模式全息圖，衍射率或反射係數都與耦合常數有關，如：

$$\eta = R = \tan h^2 (K l) \quad (5)$$

此處的 l 是晶體厚度，該結果由後一部分得出，注意

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (15)

當在耦合常數 k 中對一小的 K 1 m 很小的增加，作為 $(K$
1) 2 就會形成一定晶體厚度的衍射率有大的增益。

現象的分析著重在寫入、定影、顯影以及庫塔列夫、
蘇柏拉和其它人所列出方程式的範圍都限定了有關的重要
參數，並且分別重複地確認了根據本發程序所能取得的好
處。

寫入

在穩態和由於可忽略的熱傳導率的綫性簡化下，由庫
塔列夫和蘇柏拉所限定的任何占空間的變量 $(A(2))$
都能以富里爾級數形式展開：

$$A(Z) = A + A e^{ikz} + c.c. \quad (6)$$

這裡的 K 是光欄的波數， 0 為下符標示示 $d.c.$ (直流
) 條件)，而 (1) 的下符標是正弦變化時的幅值，要解
出由晶體中光干涉圖形引起的電子空間電荷場 E_{sc} 的電
場變量 E_1 ，可由下述公式給出：

$$E = i m E q \frac{E_0 + i E d}{E_0 + i (E q + E d)} \quad (7)$$

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (76)

此處 E_0 是直流電場， m 是模數， E_d 是擴散場 E_q 是有限空間的電荷場，而 E_d 和 E_q 由下式限定：

$$E_d = \frac{K B T K}{e} \quad (8)$$

$$E_q = \frac{e N A}{K} \left[1 - \frac{N A}{N O} \right] \quad (9)$$

此處的 $N A$ 是離子密度，離子密度在該點所佔空間內是均勻的， K 是光柵的波數，等於 $2\pi / \lambda$ ，這裡的 λ ，為光柵的波長。

折射率變量 n_1 可由下列近似給出：

$$n_1 = \frac{n_0^3}{2} \gamma_{eff} E_1$$

此處 n_0 是大塊晶體的折射率，而 γ_{eff} 為有效的光電變換系統。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (7)

對於單一載體，單一具有光電效應的摻雜材料，諸如 LiNbO_3 （鋰酸鋰）的方程（1c）可得出另一項，可改寫成：

$$J = e \mu n E + K B T \mu V N + k p \alpha I c$$

此處的 I 為光強度， α 為吸收率 $K p v$ 為光電壓常數，而 C 是一沿著光流方向的單位矢量，現在空間電荷場可由下式給出：

$$\begin{aligned} E_1 &= -im \left[\frac{\sigma_p(E_0 + iE_d) + J_{pv}}{(\sigma_p + \sigma_d)} \right] \left[\frac{E_q}{E_0 + i(E_d + E_q)} \right] \\ &= -im \frac{\sigma_p}{\sigma_p + \sigma_d} \left[(E_0 + iE_d) + \frac{J_{pv}}{\sigma_p} \right] \left[\frac{E_q}{E_0 + i(E_d + E_q)} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

這裡的 $J_{pv} = K p v \alpha I$ 。為光電流密度， I 。是光干涉圖形 $I(Z)$ 的直流（DC）級 σ_p 為光導率， σ_p 為熱傳導係數，而 σ_p 一般都 $\gg \sigma_p$ （採用大 I 。所獲得）。

對於開路的情況， $J_0 = (\sigma_p + \sigma_d) E_0 + J_{pv}$
 $v = 0$ 所以通過有限光電場

$$E_{pv} = \frac{J_{pv}}{\sigma_p + \sigma_d} = \frac{J_{pv}}{\sigma_p}$$

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝訂線

五、發明說明 (98)

則

$$E_1 = m \frac{E_d E_q}{-E_{pv} + i(E_d + E_q)}$$

在對波長 $\lambda = 500 \text{ nm}$ 的逆向傳播的幾何形狀， K 約為 $6 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 故在溫度 $T = 20^\circ \text{C}$ 時 $E_d = 15 \text{ KV/cm}$ ，這些由下文中表 1 列出。所以假設 $E_{pv} = 5 \text{ KV/cm}$ ， $E_1 = 5.7 \text{ KV/cm}$ 那麼，對 $NA = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ， $E_q = 10 \text{ KV/cm}$ ，通過把摻雜量增加一數量級，這樣 $NA = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ， $E_q = 100 \text{ KV/cm}$ 和 $E_{pv} = 5 \text{ KV/cm}$ ，因為二者級別作為 NA 屬於第一級，因此對較高摻雜係數 10， $E_1 = 12 \text{ KV/cm}$ 。

在短路情況下， $E_o = 0$ ，故 $J_o = J_{pv}$ ，而採用上述 E_{pv} 的定義

$$E_1 = m \frac{\sigma_p}{\sigma_p + \sigma_d} \frac{E_q(E_{pv} + iE_d)}{(E_d + E_q)}$$

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (19)

對上述給定值， E_1 在 $NA = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 時為 6.2 KV/cm 而 $NA = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 時 E_1 為 4.5 KV/cm ，因此在記錄時，通過縮短晶體，就獲取高得最多的空間電荷場，因此也就得到較大的耦合常數，尤其對較高的摻雜濃度。對逆向傳播模式光柵，從數字形式列出眾多實例，如下文表 1 所列。此技術也在傳送模式的全息圖中增大了耦合常數，因為在傳送模式 $E_q \gg E_d$ ，故在傳送模式中的未縮小的空間電荷場要比反射模式中的同樣電荷場低得多，這樣就使 E_1 有較大百分比的改進。

如果晶體有一小且可忽略的光電效應，那麼寫入一高效光柵的最佳條件變化，從空間電荷場 E_{sc} 的正弦曲線變化的電場 E_1 ，可由下式給出：

$$E_1 = -im(E_0 + iE_d) \frac{E_q}{E + i(E_d + E_q)}$$

現在無論如何可不縮短晶體來取得最大的 E_1 ，而且應用一外場 $E_0 \gg E_d$ ， E_q ，和 E_{pv} ，結果 E_1 接近最大空間電荷場 E_q 。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (40)

定影

在定影時，空間電荷場仍保持不變而晶體則加熱到離子變得可動的溫度，但所捕獲的電子仍保持不動，因此，非光激離子的分佈 $N_A(2)$ 不再均勻，相反為了整個電荷的平衡而補償了電子的分佈，結果

此處 N_A 為 $d c$ (直流) 離子密度， N_{A1} 為離子密度的變化，因此方程 (1 a)，(1 c) 和 (1 d) 就變成：

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (16 a)$$

$$J = e \mu N_A E + K B T \mu A V N_A \quad (16 b)$$

$$\nabla \cdot E = - \frac{e}{\epsilon} (N_A - N_D^+) \quad (16 c)$$

解上述綫性方程式，現給出：

$$E_1 = - \frac{N_{A1}}{N_{A0}} (E_0 + E_d) \quad (17)$$

此處的 E 代表全部 (也就是內和外) $d c$ 場，而 E_d (T) 是在提高定影溫度 T 時引起的漫射，用 $E_{qA} = e N_A$ 。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (41)

／ e k 代替方程式 (16c) 的結果，得出：

$$N_{A1} = \frac{N_D^+}{\left[1 + \frac{E_A}{E_q}\right] - i \left[\frac{E_0}{E_q}\right]}$$

因此使離子定影率最大而晶體又較短，這樣 $E = 0$ ，從而消除了方程式 (18) 中的一分母項，對一給定的暫時穩定光柵值 (N_D^+) 這使得正弦變化的離子光柵 (N_{A1}) 的幅值最大。

同時寫入和定影

產生固定光柵的一可供選擇的方法是同時寫入和定影的途徑，如圖 4 所示，晶體加熱到離子變得可動的溫度，然後晶體在全息圖的寫入光束曝光。對非光電材料，會有一矛盾的因素，當寫入時，希望有一個場，但在定影時，希望沒有場。對光電晶體諸如鋰鎢金屬，在寫入和定影時，希望有一小直徑的晶體，所以用一被透明導電膜或鍍層所縮短的晶體，在升高的溫度下，寫入一全息攝影的光柵。在寫入電子光柵時，離子共同補償了電子電荷的分佈，故而人們期待更強大的方法，因為增強的電子電荷並未引到一抵制更多電子遷移的空間電荷場，通過冷卻則晶體回到外界溫度（室溫），所貯存的全息圖就確定下來，而顯影的步驟按下述方式完成。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (47)

為了同時寫入和定影，用 S I M 的上角標號表示所述穩態下方方法的方程式，可從下式給出：

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (19a)$$

$$\gamma n N_D^+ = \frac{SI}{\hbar \omega} N_D \quad (19b)$$

$$\mathbf{J} = e(\mu_n + \mu_A N_A) \mathbf{E} + k_B T (\mu_n \nabla n + \mu_A \nabla N_A) + \kappa_{PV} \alpha I \hat{c} \quad (19c)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = - \frac{e}{\epsilon} (n - N_D^+ + N_A) \quad (19d)$$

$$N_D + N_D^+ = N_0 \quad (19e)$$

對 N_D ， N_D^+ ， I ， n 和 N_A 的綫性展開，限定離子導電率和光電流如下：

$$\sigma_d \equiv e \mu_A N_{A0} = \sigma_A \quad (20a)$$

$$J_{PV} = \kappa_{PV} \alpha I_0 \quad (20b)$$

並且引入邊界條件

$$\text{其結果是} \quad e \frac{\partial N_A}{\partial t} = \nabla \cdot \mathbf{J}_{ion} = 0, \quad (21)$$

$$E_1^{(SIM)} = - \frac{N_{A1}^{(SIM)}}{N_{A0}} (E_0 + i E_d^{(T)}) \quad (22)$$

此處

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (4)

$$N_{A1}^{(SIM)} = imN_{A0} \frac{E_q [(E_0 + E_{pv}) + iE_d^{(T)}]}{(E_0 + iE_d^{(T)}) [E_0 + i(E_d^{(T)} + E_{\hat{q}} + E_q)]} \quad (23a)$$

$$E_{\hat{q}} = \frac{eN_{A0}}{\epsilon K} \quad (23b)$$

注意有關順序的情況，由於 $1/E$ 。取決於 N_{A1} 而晶體縮短取得了最大的離子光欄強度。

對順序的寫入和定影，方程 (23a) 由下式給出

$$N_{A1}^{(SEQ)} = imN_{A0} \frac{E_q [(E_0 + E_{pv}) + iE_d]}{[E_0 + i(E_d + E_q)] [E_0 + i(E_d^{(T)} + E_{\hat{q}})]} \quad (24)$$

在上述方程式，角標號 (T) 表示升高定影溫定度的值，把此順序與同時存在的情況作比較，在縮短晶體中的定影率由下式給出：

$$\gamma_{FIX}^{(SEQ)} = \left| \frac{E_q (E_{pv} + iE_d)}{(E_d + E_q) (E_d^{(T)} + E_{\hat{q}})} \right| \text{ and} \quad (25a)$$

$$\gamma_{FIX}^{(SIM)} = \left| \frac{E_q (E_{pv} + iE_d)}{E_d^{(T)} (E_d^{(T)} + E_q + E_{\hat{q}})} \right| \quad (25b)$$

定影率為定影後的定量 N_{A1} 到定影前的定量 N_A 。

，表明離子數如何用定影過程方程式 (25a) 來加以調整，而方程 (25b) 表示，由於 $E_d = E_q = E_{qA}$ ，

五、發明說明 (44)

該定影率對同時寫入和定影情況，實際值會更大，然而同時寫入和定影會引出一因熱膨脹而引起的波長轉移的新問題，而在 LiNbO_3 （鋰酸鋰）中波長在每溫升 30°C 約轉移 1 埃。在初始記錄步驟中就要對光柵中的波長進行補償，這樣，在讀出溫度下就可取得所要的光柵週期。對最後光柵的調正，採用了控制溫度來微調裝置的光柵波長。

顯影

在顯影時，一不連續的均勻光束使晶體曝光，此過程也能用方程式 (1 a) (1 b) (1 d) (1 e) 和 (1 0) 來描述，但是， N_A 現在是正弦曲線變化而不是一約等於 N_{D+} 的常數，所參照方程式 (1 5)， N_A (2) 由下式給出：

$$N_A(z) = N_{A0} + N_{A1}e^{iKz} + \text{c.c.} \quad (15)$$

$$\text{而 } N_{A0} = N_{D0+}, \quad N_{D1} = -N_{D1+},$$

所以

$$E_1 = i \frac{eN_{A1}}{\epsilon K} \frac{E_0 + iE_d}{E_0 + i(E_d + E_q)} = i \frac{eN_{A1}}{\epsilon K} \gamma_{\text{DEV}} \quad (26)$$

這裡

$$E_q = \frac{eN_{A0}}{\epsilon K} \left[1 - \frac{N_{A0}}{N_0} \right] \quad (27)$$

由方程式 (2 6) 可看出，該條件為

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (45)

$$|E_0 + i E_d| > E_q \quad (28)$$

對高顯影率已是足夠，通過加一大電壓到晶體上就能滿足，或採用一帶有內部產生足夠大場開路晶體（諸如從光電效應或熱電效應中）故 $E_0 > E_q$ 。對小 E_q 的要求就需逆向傳播反射模式的幾何形狀，（見方程式 27）。

對高摻雜濃度（要求大的光折射靈敏度）， E_q 增加會對顯影率有所損害。通過利用反射模式幾何學來進行補償以增大 K ，因為 $K_{Ref} > K_{Trans}$ ，這樣就能採用達到 100 倍先有技術的摻雜，而仍舊實現 $\gamma_{Dev} = 1$ ，所以在顯影後，就能取得一高得多的耦合常數 K 。

表 1 和表 2 分別用傳送模式和反射模式來比較它們的定影率和顯影率，這些表中的定影率和顯影率表明多大百分比的最大可能的空間電荷場保存在永久和固定的產品內，在表 1 中對 $N_A = 10^{17} \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 下，傳送模式或反射模式相比較的情況下所能取得的特徵場和電子（也就是平穩定）空間電荷大小的典型值。

表 1：電子（暫時穩定）光柵—反射模式和傳送模式

	傳送模式	反射模式
$N_{A0} (\text{cm}^{-3})$		
A_s	1.0 μm	0.109 μm
K	$6.28 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$	$5.78 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$
E_d	1.59 kV/cm (20°C)	14.6
$kV/\text{cm} (20^\circ\text{C})$		
E_d	2.35 kV/cm (160°C)	21.6

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝訂線

五、發明說明 (46)

kV/cm (160°C)					
$E_q = E_q^A$	10^{17}	5	89.9 kV/cm	9.77 kV/cm	
$(N_0 > N_{A0})$	10^{18}	50	899 kV/cm	97.7 kV/cm	
$E_{1\text{open}}$	10^{17}	5	1.56 kV/cm	5.73 kV/cm	
	10^{18}	50	1.58 kV/cm	11.6 kV/cm	
$E_{1\text{short}}$	10^{17}	5	5.16 kV/cm	6.19 kV/cm	
	10^{18}	50	49.9 kV/cm	45.3 kV/cm	

結果的理論定影率和顯影率匯集在表 2。

表 2 理論的定影和顯影率

$$N_{A0} = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

			傳 送 n			反 射 n		
$E_{pv}(\text{kV/cm}) =$			1	5	10	1	5	10
γ_{FIX}	Short	SEQ	0.020	0.056	0.108	0.187	0.197	0.226
γ_{FIX}	Short	SIM	0.536	1.000	1.000	0.238	0.244	0.262
γ_{dev}	Short	n/a	0.017	0.017	0.017	0.599	0.599	0.599
γ_{dev}	Open	n/a	0.021	0.057	0.110	0.600	0.620	0.672
γ_{final}	Sh, Sh	SEQ	0.0003	0.001	0.0019	0.112	0.118	0.135
γ_{final}	Sh, Sh	SIM	0.009	0.017	0.017	0.142	0.146	0.157
γ_{final}	Sh, Op	SEQ	0.0004	0.003	0.012	0.112	0.122	0.152
γ_{final}	Sh, Op	SIM	0.011	0.057	0.110	0.143	0.151	0.176

$$N_{A0} = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

			傳 送 n			反 射 n		
$E_{pv}(\text{kV/cm}) =$			10	50	100	10	50	100
γ_{FIX}	Short	SEQ	0.0112	0.0554	0.111	0.129	0.380	0.737
γ_{FIX}	Short	SIM	1.000	1.000	1.000	0.496	1.000	1.000
γ_{dev}	Short		0.0018	0.0018	0.0018	0.130	0.130	0.130
γ_{dev}	Open		0.011	0.055	0.110	0.157	0.424	0.672
γ_{final}	Sh, Sh	SEQ	2×10^{-5}	0.0001	0.0002	0.017	0.049	0.096
γ_{final}	Sh, Sh	SIM	0.0018	0.0018	0.0018	0.065	0.130	0.130
γ_{final}	Sh, Op	SEQ	0.00013	0.0031	0.0122	0.020	0.161	0.495
γ_{final}	Sh, Op	SIM	0.011	0.055	0.110	0.078	0.424	0.672

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (41)

光電場值 1, 5 和 10 KV/cm 用於較低的離子密度且假定隨 NA。線性地增加, 所以, 對更高摻雜晶體, 它們的值分別為 10, 50 和 100 KV/cm。在飽和狀態限定數值大於 1, 也就是 $\gamma = 1$, 從這些理論結果, 可得出下列結論:

反射模式幾何形狀比傳送模式取得更好的轉換率 γ_{Final} (典型地為 100 倍, 這取決於顯影時的條件)。在傳送模式中, 顯影率對晶體是否短路非常敏感, 而反射模式光柵對晶體是否短路, 比起傳送模式光柵, 靈敏度約小 10 倍。

總的來說, 在反射模式中, 如果光電效應是大的, 隨著摻雜水平增加, γ_{Final} 也增加。對傳送模式, 隨著摻雜量增加, γ_{final} 却減小。由於它們改進的光折射靈敏度, 也就是約 650 nm, 在某些應用中, 希望晶體具有較高摻雜濃度。

指出的一重點是把採用逆向傳播反射模式幾何形狀與晶體短路的新定影技術相結合, 比起採用傳送模式幾何形狀和在定影時無電場控制的先有技術方法, 從暫時穩定的電子光柵到永久的離子光柵的轉換 (定影和顯影) 率大大地改進了。在定影後, 傳送模式的記錄固有地限制了衍射率, 而反射模式的記錄並不受相同的限制。

測量結果表明這種新型記錄、定像和顯像方法具有很大的潛力。用帶有平行於寫入光束的 C 軸的 $LiNbO_3$

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (48)

記錄反向傳輸，反射模式全息圖。在顯影過程中，晶體被電絕緣並處於均勻照射下，以便產生內光電場。採用抗反射塗層、摻有^{0.5%}鐵的^{LiNbO₃}晶體有2毫米厚，而定影後的衍射效率達43%。在未經短路的晶體中寫入的預定衍射效率為50%，這意味著定影過程中可保持86%的原始光柵強度。光束以這樣高的衍射效率耦合有助於減小可測量到的最大預定衍射效率。全息圖以大約640nm寫入，該數值大大超過晶體的感光度峰值—500nm。來自激光器的高斯光束中的總能量大約為0.6w，強度大約為20w/cm²。曝光時間20秒，曝光能量大約為380J/cm²。

當在晶體上噴塗抗靜電層使晶體在原始寫入期間短路時，可觀察到衍射效率上升。在以前的實驗中那樣的類似條件下，預定的和固定的衍射效率分別為52、57和50%。另外，在高衍射效率的情況下，可觀察到顯著的光束耦合，這種光束耦合從寫光束中消耗能量並在讀取時產生多重反射，從有效的信號光束中消耗能量。此外，更有效的短路技術，例如採用透光抗反射塗層如Sn，或將晶體浸入傳導液中會產生更好的效果。

在實驗中也對同時寫入和定影進行了試驗。用透明傳導液對KLiNbO₃晶體進行塗覆並在爐中加熱至固定溫度160℃對多塊晶體用反向傳輸635nm，250mw的高斯光束照射30秒，然後使其冷卻到室溫。顯影後

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (49)

，測量到的衍射效率大約為 50 %。

用高溫下測得的外推衰變時間估計固定光柵的壽命，這與以前他人在本領域中使用的技術相符。實驗表明本發明技術中的反射模光柵在室溫下半衰期為 75 年。

雖然以前的實驗全是採用反射模幾何形狀，理論估計與以前報告過的方法相比可獲得很顯著的成果，這種新型定影方法中的技術也可適用於傳導模光柵。使用兩個 $5 \times 5 \times 2$ 毫米的帶橫向摻雜率為 0.02 % 和 0.03 % C 軸的 LiNbO_3 晶體。曝光強度大約為 360 J/cm^2 調制指數大約 639 nm 。傳導模光柵的顯影時間用 4 w/cm^2 (瓦/厘米²) 的氬離淚光素大約為 5 分鐘。對於 0.03 % 的晶體，未經短路定影前 $\eta = 0.64 \%$ ，定影後 $\eta = 0.08 \%$ ，轉換效率為 12 %。對於 0.02 % 的晶體，衍射效率分別為 0.61 % 和 0.07 %。採用新的短路定影技術同時進行定影。對於 0.03 % 晶體衍射效率為 0.64 % 和 0.13 %，轉換效率為 20 %。

摻有 0.05 % 鐵的鋰酸鉬 (Lithium niobate) 在以前的大多數實驗中被採用，因為可從市場獲得並且人們發現它是全息圖寫入和定影的優良材料。其它可替代的材料是摻鐵鉍酸鋰 (LiNbO_3)，作為光折射介質用於高耦合恆全息圖寫入和定影技術。其中一個替代材料是摻鐵鉭酸鋰 (lithium tantalate)，它也具光折射性 (E.

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (50)

Kratzig和R. Orłowski所著“鉍酸鋰作為全息儲存材料”應用物理第15卷133~139頁, 1970年版)。晶體厚度約為2毫米, 摻有0.05%的鐵。

對採用現有技術方法非短路定影和本發明技術的摻鐵鉍酸鋰 (LiTaO_3) 的轉換效率進行比較。以488 nm (毫微米) 傳輸模57度入射角在每一次實驗中以相同的曝光強度 (大約560 J/cm² (焦/厘米)) 寫入光柵。在通過加熱至160℃保持2分鐘定影和顯影全息圖之前和之後測量光柵的衍射效率。當晶體如本發明所述在定影期間短路時, 轉換效率 (永久衍射效率與暫時穩定光柵之比) 從0.56%增加到4%以上。

在寫入暫時穩定光柵階段, 本發明方法於同樣的摻鐵鉍酸鋰 (LiTaO_3) 晶體顯示出巨大的改進效果。用以前實驗中相同的設備, 以488 nm寫入暫時穩定光柵, 而晶體通過塗覆一層抗靜電液而短路。在560 J/cm² (焦/厘米²) 曝光強度下測得衍射效率超過30%, 與其相比未經短路, 但在相同條件下衍射效率為6%。這些結果是在488 nm情況下測得的, 由於採用了本發明, 它們較之在640 nm情況下在光柵量值上要顯示出更大的改進, 這是由於較短的波長具有更大的充電效應。

這些實驗結果均在表3中列出。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (5)

表 3 測量結果
反射模式 (摻鐵 LiNbO_3)

摻雜物 γ_{Conv} Conc	$\lambda(\text{nm})$	短路/開路 (定影)	Sim/Seq	η : 預定	η : 固定
0.05% Fe	640	Short	SEQ	50%	43%
0.05% Fe	640	Short	SIM	--	>50%

傳輸模式 (摻鐵 LiNbO_3 和 LiTaO_3)

摻雜物 Conc	晶体	$\lambda(\text{nm})$	短路/開路 (寫入/定影)	η : 預定	η : 固定	$d \gamma_{\text{Conv}}$
0.03% Fe	LiNbO_3	640	Open/Open	0.64%	0.08%	12%
0.03% Fe	LiNbO_3	640	Open/Short	0.64%	0.13%	20%
0.02% Fe	LiNbO_3	640	Open/Open	0.61%	0.07%	12%
0.02% Fe	LiNbO_3	640	Open/Short	0.64%	0.014%	22%
0.05% Fe	LiTaO_3	488	Open/Open	6.0%	0.033%	
0.56%						
0.05% Fe	LiTaO_3	488	Open/Short	8.7%	0.36%	
4.14%						
0.05% Fe	LiTaO_3	488	Open	6.0%	(未定影)	
0.05% Fe	LiTaO_3	488	Short	31.7%	(未定影)	

選擇具有足夠施主利阱濃度的合適晶體對於優化定影和顯影效率是很重要的。如果阱濃度太低，或許由於在產生過程中減少了，固定光柵的轉換效率會大大降低。因此，低阱（離子）濃度的晶體可在通過在帶水蒸汽的氧氣環境中加熱而氧化，以減小施主密度並增加阱濃度。經在 600°C 環境下氧化處理幾個小時後，具有非常低（5%左右）的定影和顯影效率的晶體其轉換效率的改進達10%或更大。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

205097

五、發明說明 (57)

正交數據儲存

光折射材料最具潛力的應用之一是用作為儲存介質，用於存儲數字信息的體積全息圖。通過記錄數字信息作為圖象（用透明的空間光調制器或類似裝置），高達一兆位的信息量（用 $1000\sqrt{1}000$ 陣列）可儲存在一單個全息圖中，儲存在介質中的大量的各個全息圖具有平行的可及性。這種儲存量目前受到低空間光調制器容量的限制，但在光折射晶體中可實現每一平面 10^8 比特，最大容量為每平方厘米全息圖 10^8 比特。

採用體積全息圖，光學數據儲存的根本問題是在給定的容量中不使相鄰的全息圖互相影響可存入的獨立的高分辨率全息圖的數量。以前的系統在存儲每一不同的全息圖時，每曝光一次後將晶體旋轉一個很小的角度或使目標光束和參考光束之間夾角不同（角度多重）。這裡所揭示的正交數據儲存保持同樣的角度分離，但每一全息圖使用不同的波長（波長多重）。無論是那種情況，角度分離還是波長分離，都必須足夠大以避免全息圖之間互相影響（干擾）。在光折射晶體中已存入 1000 個以上的有圖象全息圖，但每一全息圖的衍射效率較低且信息的比特容量比 V/λ^3 的理論衍射最大極限低許多個數量級，其中 V 是晶體的物理體積， λ 是用於記錄全息圖的光波長。

圖 10 表示用正交數據儲存方法在光折射晶體中寫入

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (27)

數據。這一系統可在光折射材料中記錄多重高分辨率、多重波長全息圖。在該例子中所選取的光折射晶體是摻有 0.05% 的鉍酸鋰，晶體放置成使其 C 軸沿光柵波長的方向以使光折射指數光柵強度最大。來自可變波長激光器 22，例如由電源 23 驅動的內計算機控制的染料激光器的光被光束擴展器 24 擴展並准直，從而其波形為平面，然後光束被孔 26 整形並被分束器 30 分成兩束光。兩束光被成角度放置的鏡子 32，33 沿反向傳輸方向導向晶體 10，兩束從分束器 30 到晶體 10 中心的路徑長度相等。帶有需記錄信息的圖象透明軟片 35 在目標光束的光通路上緊靠晶體放置，以調制光束。通過使用這樣的系統例如機械透明軟片輸入器或空間光調制系統可記錄多重圖象，空間光調制系統是以電子學的方法儲存和輸入圖象，由於這樣都是傳統做法，因此圖中未詳細示出。復記錄一個新的圖象，波長控制器 39 就輸入一個增量信號改變線激光器波長，波長控制器 38 由圖象控制器 40 操縱，控制器 40 同時還控制每個全息圖的曝光和適當圖象的輸入。

每一連續的圖象，就一不同的二維透明軟片調制並以不同的波長通過這種正交數據儲存系統存入光折射晶體 10。波長的多路傳輸以這種方式形成三維，將二維圖象儲存在光折射晶體中。波長可在 4000 Å (埃) 到 8000 Å (埃) 之間變化，帶寬 0.5 Å，波長中心到中心的間距可小於 2 Å，這樣可互相無干擾地存入成千個圖象。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝·訂·線

五、發明說明 (4)

在實踐中，用做為可變波長源的染料激光器 22 的波長範圍將會為可儲存的全息圖數量設立一個實際極限。

圖 11 示出了一個讀取系統的例子，它用於提取儲存在光折射晶體 10 中的全息信息，這些全息帶有以圖 10 所示正交數儲存方式存入的數據圖象。光從寬帶源 44 經過可變窄帶濾光器 46，其帶通由波長控制器 48 決定，波長控制器 48 由處理器 50 操作。濾光器 48 的帶通是以包圍晶體中任意一個單獨全息圖的帶寬，源 44 通過濾光鏡片後其強度可提供足夠的相干性，從而以某一特定的波長將記錄在晶體 10 中的全息圖反射出。通過濾光器的光被光擴展器 52 擴展，並被導引通過一分束器 54。如果入射波形與其中一個存儲的全息圖波長相匹配，儲存的圖象就被反射回分光器 54，分光器 54 將信號反射到成像透鏡 58，鏡頭 58 將信號聚焦在探測陣 60 上。高強度電荷耦合器件 (CCD) 或電荷注入器件 (CID) 可用做為檢測器陣列 60，這些器件可從市場獲得，而且都有至少為 1000×1000 的象素分辨率。通過圖 11 中的晶體 10 的反射讀取光束 62 對被全息圖反射的圖象進行補充。

在寬帶光和濾光器組合的情況下，光源可用可調諧激光器，或如圖 12 所示那樣，用在不同的所需波長單獨開關的調諧激光器系統。將由單個二極管激光器 61 組成的激光陣通過一光束轉換器 62 引向光束擴展器 24，激光

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (57)

陣各激光器的波長與儲存在晶體 10 中的全息圖的波長相對應。控制器 63 操縱具有與所需全息圖的波長相對應的激光器的開和關。這樣一個系統的優點是對於儲存的信息有很高的平行取數。由全息圖所載的信息可以這樣一個速度取出，該速度會受可變光源轉換速度的限制（或如果使用有各自不同波長的激光器的話，會受開關速度的限制）。

為了分析數據儲存的基本過程，一種實用的已知方法是 K 空間分析法，如圖 6 a 和 6 b 所示。光的波形有一波矢 K，波矢 K 在傳播方向上與波形垂直，波矢 K 的量值為 $2\pi/\lambda$ ，其中 λ 是光波長。以類似的方式，儲存在晶體內的全息光柵有一光柵波矢 K，光柵波矢 K 垂直於其光柵面，長度為 $2\pi/\Lambda$ ，其中 Λ 是儲存的全息圖形的“波長”。設 K：為光柵波矢， k_i 由波矢分別為 $k_i(0)$ 和 $k_i(R)$ 的物光束和參考光束干涉產生，如圖 6 所示，其中光柵波矢按下列公式計算

$$K_i = k_i^{(R)} - k_i^{(0)} \quad (29)$$

對平面波來說，目標光束的水平分量為零（目標光束在柱面坐標中以 $K_r(0)$ 表示）。對載象波而言，這一目標波矢將會有一系列垂直分量，這些垂直分量來自於圖象的空間信息量，其全角度範圍為 $2\theta_i$ 。參考光束與 Z 軸的頭角設定為 θ_i ，因此對於如圖示通常在軸綫上的目標光

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (46)

束，目標光束與參考光束的夾角為 $\pi - i$ 。光柵 K 矢量是兩寫 K 矢量之矢量差，對於高分解率物體如圖 6 b 所示，光柵 K 矢量的量值按下式

$$K_i = k_i \sqrt{2[1 + \cos(\varphi_i - \theta_i)]} \quad (30)$$

其中 K_i 是圖象光束和參考光束二者 K - 矢量的量值， θ_i 是參考光束和圖象自由（或平面）物光束之間的角度空間。目標波矢角 ϕ 的範圍包圍物體的全角度帶寬 ϕ_{max} 。物體的 / 主角度帶寬與其最小特徵尺寸 u 相關，關係為或為

$$w = \frac{\lambda_0}{2 \sin \varphi_{max}} \quad (31)$$

為避免相互影響，被光柵波矢掃過的每一個弧不能疊加且必須分開。如圖 7 所示，圖中示出在數據儲存中角度多重的主要限制。為避免全息圖之間的相互影響，有必要增加角度間隔（這樣會減小可儲存的單個全息圖的數量），這樣做是由於在 K 空間中全息圖沒有充分地分開（有疊加）。隨著 K 空間中殼層之間間距的縮小，全息圖之間的耦合就會增加，為這一問題，須減小錐角，這樣會限制圖象的最大分辨率。另外一種辦法是增大全息圖之間的波長間隔或角度間隔以避免耦合。

如本發明所提出的為解決這一問題，可採用反傳輸反

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (57)

射模幾何形狀寫入載象全息圖。現在 $K_i(0) = -K_i(R)$ ， $K_i(0)$ 未調制（平面波）。從圖 8 中可看出，全息圖以這樣的方式立體分佈，即在 K 空間中最有效地利用晶體的可使用體積。在該方案中，通過以不同的波長進行記錄，各個不同的全息圖被多重複合在一起，這樣便引入或 $K = 2\pi/\lambda$ ，作為儲存的第三個正交維。各個連續的圖象佔據 K 空間中的球面，半徑以 K_i 表示，它們的中心偏離圖 8 所示的原始中心。這些殼層除了在原點外永遠不會相互交叉，原點無實際用處，因此 ΔK 的唯一限制是全息圖的光譜帶寬， ΔK 按下式推導出，並隨原經實施測量出。

將式 (30) 和 (31) 結合，並採用

$$\Delta\lambda' = \Delta\lambda + \delta\lambda, \quad (32a)$$

其中

$$\Delta k = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \Delta\lambda, \quad \Delta k' = -\frac{2\pi}{\lambda'^2} \Delta\lambda', \quad (32b)$$

而平面波的波長間隔， $\Delta\lambda'$ 是具有最小分辨率 w 的載象波的相應的波長間隔， $\Delta\lambda' / \Delta\lambda$ 和 w 的關係按下式

$$w = \frac{\lambda}{2} \left\{ 1 - \left[\frac{2}{(\Delta\lambda' / \Delta\lambda)^2} - 1 \right]^{1/2} \right\}^{-1/2}. \quad (33)$$

注意可能的最小分辨率為 $\lambda/2$ 。 w 的數字結果作為波長間隔的函數在圖 9 中繪出，該曲線的 λ 為 500 nm。該曲線圖表示出採用這種正交數據儲存技術可以非常小的波長間隔但非常高的分辨率儲存全息圖。

例如，當 $\theta \leq \phi \leq \pi/4$ 時，根據式 (31) 與此對

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (58)

應的最小圖象分辨率低至 0.7λ ，或對於光照波長為 $0.5\mu\text{m}$ (或 500nm) 尺寸大約為 $0.35\mu\text{m}$ (微米)。在式 (30) 中，對於反向傳輸模式 $\theta = 0$ ，因此在 $\phi = 0$ 和 $\pi/4$ 時計算 ΔK ，其結果是 $\phi = \pi/4$ 時的 ΔK 是 $\phi = 0$ 時的 ΔK 的 0.924 倍。這意味著對於這種分辨率非常高的圖象， $\phi = \pi/4$ 時 K 空間中的最小間隔 ΔK 比 $\phi = 0$ 時對於未調制平面波面而言要小 8% 。因此，波長間隔會需增加 8% 即可保持與平面全息圖相同的低干擾水平。不產生相互干擾的最小間隔取決於全息圖的全光譜帶寬，它是按下式給出的全息圖的厚度。

採用由 H. 考格爾尼克 (Koselnik) 研究出的耦合波分析法 ("厚全息圖光柵耦合波理論" Bell Syst Techj 第 48 卷，第 2909 至 2947 頁 1969 年版)，對於在光折射介質中以反向傳輸幾何相互作用的兩平面波，作為反射全息圖衍射效率的反射係數按下式計算：

$$R = \left| \frac{\kappa \sinh(-S\ell)}{-\frac{\kappa}{2} \sinh(S\ell) + iS \cosh(S\ell)} \right|^2 \quad (34)$$

其中

$$\kappa = \frac{\pi |n_1|}{\lambda_0} \quad (35a)$$

$$S = \sqrt{\kappa^2 - \left(\frac{\Delta K}{2}\right)^2} \quad (35b)$$

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (5)

$$\Delta K = 4\pi n_0 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) = 2\Delta k \quad (35c)$$

K 是耦合係數， γ 是晶體的厚度， λ 是用於寫入光柵的光波長， n_0 是材料的折射率，而 n_1 是指數調制的振幅，

$$n_1(z) = n_1 e^{iKz} + c.c. = n_1 \exp\left(i \frac{4\pi n_0 z}{\lambda_0}\right) + c.c. \quad (36)$$

帶寬大至與晶體厚度成反比，並且由於

$$\Delta k = \frac{\pi}{l} \quad \text{或} \quad \Delta \lambda = \frac{\lambda_0^2}{2n_0 l} \quad (37)$$

從式 (5) 可得出，當讀取波長 λ 等於寫波長 λ 時對於與按布喇格 (Bragg) 條件解調為零相對應的 $\Delta K = 0$ ，反射率按下式

$$\eta = R = \tanh^2(\kappa l), \quad (5)$$

在圖 5 中以曲線示出是 K 1 的函數。圖中示出隨著 K 1 增加到飽和狀態，以高效率儲存的全息圖數據量也增加了。

介質的儲存容量定義在給定容積中無干擾地存入光柵的數量。在給定容積中可存入的比特 Nbits 數量按下式

$$N_{3iu} = \frac{L_x L_y}{w^2} N_{\text{Holograms}}$$

其中 L_x 和 L_y 是儲存介質的模向尺寸。在實踐中波長多

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

205087

五、發明說明 (60)

重的光譜範圍被限制在 λ 至 $\lambda / 2$ ，以避免從次級光柵散射。用式 (37)，對於濃度為 d 的全息圖數量按下式計算

$$N_{\text{Holograms}} = \frac{\lambda / 2}{\Delta \lambda} = \frac{n_2 d}{\lambda} \quad (39)$$

通過將 ϕ_{max} 在式 (31) 中限定為 $\pi / 4$ (與 0.5 fnumbers 對應)，對於特數量來說儲存量為

$$N_{\text{bits}} = 4n_2 \frac{V}{\lambda^3} \quad (40)$$

這一結果與先有的理論推導相符 (P. J. 范·海爾登 (Van Heezden), "固定材料中光信息儲存理論" Apple. Opt. 等二卷第 393 頁, 1963 年版)。因此, 正交數據儲存可以充分利用介質的儲存容積。由於高旁波抑制, 它適用於在低曝光能量下高分辨率、高倍噪比圖象儲存。

圖 13 和 14 示出了一單獨的未調制 2 毫米厚平面全息光柵的理論響應和實際響應。在理論上, 對於 -30 dB 的旁波抑制至少需 6 Å 的間隔, 儘管在實驗中 (圖 14) 對於同樣的旁波水平僅需 2.5 Å (埃) 的間隔。由正交數據儲存概念產生的兩個切趾效果部分地影響了這種實驗中觀察到的旁波減小現象。

第一個變迹效果, 如圖 15 (a) 所示, 是非綫性地衰減反向傳輸波的振幅, 從而他們會在中心相等; 從材料

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (b/)

中的吸收而來的（假定入射強度相等）。這意味著調制指數 m 在中心最大，而在表面則下降。因此，調制指數的強度是變化著的，在中心最強，所以它形成或變迹光柵，從而改變反射的光譜響應以減小旁辨波。

第二個效果，如圖 1 5 (b) 所示，產生於激光同有的部分相干特性，它有一定心在波長中心的有限波長光譜。採用相等的光通經長度。光波在晶體中心精確均勻地干涉。在靠近表面部分，光通路差增加，減小了調制指數，並產生一指數光柵，其振幅在晶體中心達到峰值。由於這些全息圖具有特別窄的帶寬（小於 $0.5 \text{ \AA}$ （埃）），上述效果導致可將這些全息圖以很小的距離間隔，例如中心到中心可以為 $2 \text{ \AA}$ （埃）或更小。但以很低的相互干擾率可在 λ 到 $\lambda/2$ 的波長範圍內儲存大量高分辨率圖象（避免第二諧波）。

採用這種新的正交數據儲存方法在實驗中測得相互干擾特別低，而信噪比很高。在小於 2 毫米厚的鉍酸鋰晶體中可存儲衍射效率高於 1 % 的 50 幅全息圖或 100 個以上的平面波（A. 楊里夫 (Yariv) 等，"用正交數據儲存高分辨率體積全息攝影"，論文 MD-3，美國光學協會關於光折射材料的討論會，1991 年 7 月）。因為晶體厚度經小幾次方時，衍射效率在第一級範圍，可觀察到晶體越厚，效果越大。

圖 1 6 示出用正交數據儲存技術在 2 毫米厚 0.2 立

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (67)

方厘米的鍍酸鋰晶體中以 $2 \mu m$ (微米) 的行和間隔儲存集成電路掩模的 32 幅高分辨率圖象。相鄰全息圖之間間隔為 $5 \text{ \AA}$ (埃) 時，可獲得超過 24 dB (分貝) 的光信噪比。(見下列表 4)。此外，這一實驗是在 640 nm 左右進行的，在 488 nm 左右響應有望大大低於在鍍酸鋰感光度峰值時的情況。以每一最小分辨元一比特，32 幅全息圖相當於在 -2 毫米厚的晶體中存入大約 10^4 比特向數據。由於隨厚度衍射效率增加而帶寬減小，採用較厚的晶體，例如 1 厘米的晶體可使儲存量增加。

表 4 正交數據儲存中信噪比

全息圖數量	通道間隔	光信噪比 (dB)
2	10	44
4	10	44
8	10	43
16	10	33
32	5	24

正交數據儲存方法可使用數據密度的理論儲存量超過目前的輸入輸出裝置，例如空間光調制器和 CCD / C I D 陣的分辨力。若圖象分辨率為 $1 \mu m$ (微米)，這一數字在正交數據存儲技術的理論存儲能力範圍內，對於 1 平

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝·····訂·····線·····

五、發明說明 (67)

方厘米的晶體表面其相應的像素密度為 $10^4 \times 10^4$ ，這大至比目前的空間光調制器的尺寸高兩個數量級。然而空間地將全息圖多傳輸在例如穿過晶體表面的 10×10 柵極上就可超過這一界限，其中通過使其與寫入系統的分辨界限匹配，每一平方毫米元全部利用空間光調制器的 1000×1000 像素分辨界限，如圖 17 所示。這種空間多重可通過鏡子和平移級，或通過電光束偏轉器用電光方法機械地完成。

在附圖中，目標光束穿過一空間光調器 35 和一光束縮小儀 f_2 在被引向晶體 10 之前將其直徑縮小到所期望的光點尺寸。用一兩軸平移級 64 將晶體 10 在每次曝光後移到正確的位置。在相鄰的全息圖之間可用小靜帶或保護頻帶消除圖象干擾。

這種正交數據儲存措施除了可減小相互干擾外，相對角度多重儲存技術還是有許多其它的重要優點：

- 採用反向傳輸幾何，利用了前面討論過的增強型定像系統的優點。
- 對於反向傳輸模讀取時視場最大，從而容易對準，分辨率最大但相互干擾最小。因此，無需精確定位系統引導角度分辨率為 0.01° 的參考光束。

對於鉍酸鋰或類似的光折射晶體，最佳的增量方向或 C 軸在 Z 方向上，這簡化了晶體的增量和制備同時降低了成本。通過簡單地增加毛坯長度就可使厚的晶體增量，而

五、發明說明 (24)

不受其直徑的限制。

由於採用波長多重，在讀取時可獲得更快的可及時間，讀取速度只受讀取光源的關聯式調諧速度限制。

本發明開發了一種真正的正交數據儲存方法，它具有很高的分辨率全息圖儲存量，而相互干擾度很小或沒有。它的波長多重化方案最終可在光折射晶體中儲存以埃為單位間隔的成千幅圖象。與前面部分中提及的增強型定像和顯像程序連繫起來，可得到具有快速、平行可及性的恒定高密度數據儲存。

光學相關器

光學圖像相關在圖形和文字識別、圖像分析、相聯儲存和光學計算等許多方面的應用中是一個重要的操作。兩種不同圖像的傅里爾變換的放大技術和得到它們的積的傅里爾變換的技術（它的逆向傅里爾變換操作相當）是眾所周知的用作相關的技術。這使重合的或相似的圖像能很方便地識別出。許多現代的相關技術基於試樣及參考圖像的數字化，以及用來找到最佳匹配複雜算法。這些技術要求大範圍的儲存和處理功率，即使如此，在速度及容量方面還受到限制。

在圖 1 8 中示出了使用正交數據儲存的優點的一個光學相關器系統。晶體全息記錄和讀出系統成形用來儲存及讀出逆向傳播、反射型全息圖，如上所述。但是，只要通

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (65)

過簡單地使物體或試樣的圖象通過傅里爾變換透鏡，把多重的參考圖像以傅里爾變換圖像的形式預先記錄在一反學的晶體 10' 中。多種的全息圖，其每個能以不同的很接近的波長反射，被定影下來並顯影。在圖 19 (a) 中描述了這種記錄操作，其中參考圖像（在透明體 66 上記錄的）被一物體光束照射，然後射向穿過傅里爾變換透鏡 68。目標光束在反光晶體 10' 的一側聚焦，而參考光束是從另晶體 10' 的另一側逆向傳播進入晶體 10' 的具有類似波長的平面波。

在圖 18 所示的結構中，由景象 65 所代表的要相關的圖像被攝像機 67 實時地掃描到，並被送到用於分析工序的儲存介質 69，該分析工序被圖像處理器 71 所控制。典型地，用一圖像處理器 73 來移動、度量或轉動由攝像機 67 所檢測到的圖像。但是，圖像處理器 73 和圖像儲存器 69 的元件是非強制性的，並不要求在所有的情況下都使用。隨後，圖像數據用來控制一個立體的光調制器 75，該光調制器 75 把處理的圖像形成一束選定波長的光束。這樣，從可調激光器（如染料激光器）77 發出的光束送入光擴展器 79（可調激光器是在圖像處理器 71 所設定的輸出波長下工作的），這樣，具有合適截面的波前被投射到立體光調制器 75，該光調制器 75 用以預處理器 73 輸出的圖像數據調制該平面波。圖像穿過一分光鏡 81，再被透鏡 68 進行傅里爾變換，並投射到光折射

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (66)

晶體 10'。由於把輸入圖像的傅里爾變換用來讀出晶體中的全息圖，其本身也是一個傅里爾變換全息圖，因此，只有這兩種傅里爾變換的積反射回來。傅里爾變換的積沿反射方向又被透鏡 68 再進行傅里爾變換，並被分光器 81 反射到探測系統 70，該探測系統 70 可以是例如一種電荷耦合裝置 (CCD) 或電荷注入裝置 (CID)。

圖 19 (b) 示意地說明讀出操作。從傅里爾變換透鏡 76 穿過的從晶體 10' 反射回來的兩個傅里爾變換的積的傅里爾變換，或者是兩個原始圖像的相關：

$$\begin{aligned} h(x, y) &= FT^{-1}[\bar{F}(k_x, k_y)G(k_x, k_y)] \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \iint \bar{F}(k_x, k_y)G(k_x, k_y)e^{i(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y \\ &= f(x, y) * g(x, y) \end{aligned} \quad (41)$$

式中：

$$\begin{aligned} F(k_x, k_y) &= FT[f(x, y)] = \iint f(x, y)e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy \\ G(k_x, k_y) &= FT[g(x, y)] = \iint g(x, y)e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy \end{aligned} \quad (42)$$

圖像處理器總可以瞬時得到該相關結果 $h(x, y)$ 。

在現有技術中，如角度的多路傳遞系統之類的常規技術已被用來儲存在晶體中的參考的傅里爾變換圖像或樣板。使用正交圖像儲存的逆向傳播的波長多路傳送圖用於相關器，高分辨力的樣板能減少交叉影響而儲存在晶體中。另外，波長掃描顯著地使系統簡化，因為與角度多路傳送

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

205097

五、發明說明 (67)

圖不同，輸出信號光束總是沿著同一方向，由此它們不要求角度運動或光束定位就可以射向探測系統。

窄行距濾光器

在一類本發明裝置的不同實例中，用正交數據儲存技術儲存的全息圖的窄波長選擇特點用來提供窄行距濾光器，用於太陽天文學、分光鏡、和激光波長控制等多方面應用。有效的濾光元件是一個簡單的包含要求波長的單一的、高效率的逆向傳播全息圖的光折射晶體。該全息圖最好用前面所述的技術定影及顯像，而保持光柵滲透性。但是，暫時穩定圖像已使用，有滿意的結果，但是只有很短的工作時間。

測得一個 2 m n 厚的全息光柵的半最大帶寬 (FWHM) 小於 0.5 A 。雖然對於如下要說明的不同目的，圖像可以是平面的或曲面的，最好用波長控制的激光器發出的光束記錄光柵。使用 LiNbO_3 作為光折射材料的全息光柵的反射（繞射）效率為 50% ，使用本技術的濾光器的性能可與現在的最好的技術相比較（如用在天文學研究中的立奧濾光器）。另外，通過把附加的全息圖記錄在同一晶體中，這些全息濾光器具有把多重的波長保持在同一晶體中的能力，它們各有自己的預定的反射方向，這是現有技術的濾光器所沒有的特點。

圖 20 和 21 比較了本發明的全息濾光器和現濾光器

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (68)

技術中最好的非常昂貴的（約 10 萬美元）立奧濾光器的光譜特性曲線。這兩個濾光器的中央波長都在 6562.8 Å 處 H α 氫發射綫（該數據為空氣中測得，如在真空中則為 6564.6 Å）。使用極化光，全息濾光器的通過率（在分光器、吸收、散射及其它損失後，落到觀察者的入射光的百分比）為 9%，這與立奧濾光器（一種直綫的傳送裝置）的 11.6% 的通過率是可以相比較的。在波峰下的 -3 dB（半最大帶寬）立奧濾光器及全息濾光器常寬分別為 0.45 Å 與 0.32 Å，另外，全息濾光器的峰周圍的側波辨衰減比立奧濾光器更高。

圖 22 示出一使用體積全息光柵的曲型的高效濾光器的結構。這裡（從望遠鏡或其它的光學系統傳送來的）輸入光穿過一改善對比度的前置濾光器 85（約 10 - 20 Å 帶通）、一偏光鏡 86、和一分光鏡 88。在光帶通路的端頭，選定波長的光由一窄帶寬全息濾光器 90 反射，該濾光器 90 也是一個具有要求波長的儲存全息反光光柵的反光晶體。晶體 90 最好塗上抗反射層以減少反射損失和改善信號 - 干擾比。為了進一步減少反光干擾，當記錄光柵時，將晶體 90 傾斜。然後把晶體 90 裝進殼體 100 中，使光柵面與入射光成正交，但晶體表面是傾斜的。這樣定向使鏡面反射偏軸而反射入鄰近的射綫收集器 92。在全息濾光器 90 的後面還放置了另一個射綫收集器 94 收集被傳送的光，在靠近分光鏡 88 處設置了第三了射

五、發明說明 (69)

鏡收集器 9 5 以吸收從分光鏡 8 8 的表面反射偏開的入射光。射鏡收集器 9 2、9 4、9 5 用最小的散射來吸收不需要的光以改善反射圖像的信噪比，及對比度。晶體 9 0 可通過改變在布拉格 (Bragg) 匹配條件而進行小角度改變對濾光器的中心波長進行細調。由於傾斜的 (單軸) 晶體現在有兩條通帶，偏光鏡 8 6 保證只有一個反射出光欄。分光鏡 8 8 把反射的信號傳給觀察者或儀器。除了對晶體 9 0 可作斜度調整外，還有溫度控制裝置 (例如熱電裝置) 9 8 的調節功能。由於濾光鏡只極窄的波長選擇性，因此用具有高精度的溫度控制器來避免所要求的波長漂移掉。一合適的殼體 1 0 0 使元件與環境光線隔離開。

濾光鏡的視場限定為與具有常數入的濾光器的反射性的 F W H M 相應的角度範圍。這由下面的條件限定：

$$\Delta k = \frac{2\pi n_0}{\lambda} \left(\sqrt{1 - \frac{\cos^2(\theta - \Delta\theta)}{n_0^2}} - \sqrt{1 - \frac{\cos^2 \theta}{n_0^2}} \right) = \frac{\pi}{L}, \quad (43)$$

式中：L 為晶體的厚度； λ 是波長；n 是晶體的 (體積) 折射指數； θ 是入射光和在晶體內測量的晶體表面之間的夾角； $\alpha \Delta \theta$ 是視場 (全角度)。

注意 $\theta = \pi / 2$ 時 (逆向傳播的幾何條件)， $\Delta \theta$ 最大。在這個情況下，對於 $\lambda = 656 \text{ nm}$ 和 $L = 2 \text{ MM}$ ，

$$\Delta \theta \sqrt{\frac{n_0 \lambda}{L}} = 0.0275 \text{ 弧度，或全角度為 } 3^\circ。對於偏軸$$

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (70)

1, 視場降到 1.7° , 如果能犧牲視場, 全息光柵可為小偏軸反射記錄, 可取消對分光鏡的需要, 但是對於觀察使用 (例如用望遠鏡), 通常要求儘可能最寬的視場, 它典型地要同軸反射, 因此儘管在通過率強度方面有損失, 仍要使用分光鏡。

這些濾光鏡有相當大的潛力可用在許多要求低於 1 埃分辨力的場合, 如激光雷達、發射和吸收光譜的干擾過濾、喇曼 (RAMAN) 光譜和遙感。

這些濾光器的一個專門應用是在太陽天文學方面, 其中前面提到的波長為 $6562.8 \text{ \AA}$ (在空氣中) $H\alpha$ 氫線是對天文學家相當有興趣的幾條太陽吸收綫中的一條。圖 2 2 中帶有對 $H\alpha$ 波長的全息光柵的濾光系統是用於這一目的裝到大陽望遠鏡上, 可實時地看到太陽的耀斑和日焰活動。在這些應用中, 前置濾光器 8 5 用來減弱超出帶外的太陽輻射。在逆向傳播的幾何條件中在 $H\alpha$ 波長, 全息光柵的視場約為 3° (全角度), 這比全太陽盤的 0.6° 弧要寬得多。

帶球形的、立體的、非調制的目標和參考光束的全息光柵記錄可以得到改善的結果, 可在晶體中產生曲面的光柵。製造濾光器具有圖 2 3 所示的光學結構, 其中鋁酸鋰晶體 1 0' 暴露在來自聚焦透鏡 1 0 2、1 0 3 的要求波長的兩個逆向傳播的球形波中。一個流出 DCM 特種染料的波長穩定的染料激光器 1 0 5 用作干涉源。聚焦透鏡 1 0

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (71)

2、103 是相同的，並放置使它們的焦點重合。在光擴展器 109 後的分光器使從鏡 111，112 射出的沿相對於晶體逆向傳播的兩個准直光束有相等的通道長度。 f 個透鏡 102、103 與所用的 f 個望遠鏡相匹配，物體波前是聚焦的球形的波前，而參考波前是沿著同一光通道發散。典型地，大到 35 mm 直徑的鋁酸鋰盤用來儲存全息光柵，雖然原則上可以用具有相應的更大的曝光時間或更高的激光功率條件的更大的晶體。對於永久儲存光柵，晶體使用上述技術定影及顯像。

對平面光柵，為了使鏡面反射軸偏轉，原始的光柵用稍微傾斜的晶體記錄，該晶體只有穿過晶體表面的光通路長度差引起的很小的聚焦誤差。另外，正交射入光柵的光束可得到最大的視場，用與 f 個望遠鏡相匹配的曲面光柵可保證這一點。另外，由於偏軸輻射是以布拉格條與不同波長匹配，更大的望遠鏡光柵傾向於使濾光器的響應變寬（對平面光柵濾光器而言）。這對可用的最大光柵（或最低的 f 數）是一限制。（ f 數限定為光柵直徑分開的聚焦長度）。通過使反射的信號再朝整個晶體上的同一點再聚焦，曲面光柵使濾光系統的傾斜不變性改進，因此減少了任何的使波長變寬及聚焦誤差。可以使光柵的曲率適合於任何 f 數的望遠鏡，其中平面光柵濾光器限制到更高的 f 數，其中入射波前可以為平面波近似，這是太陽濾光器的新特點。

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (77)

除了簡單以外，這種濾光器還有許多優點。當增加晶體厚度而使通帶降低，反射系數可以增加，晶體厚度至少比波長大兩個數量級。約 3° 的視場比太陽的角 0.6° 要大得多。在這裡所指的處理程序的情況下，儘管全息圖的散射變量的校正數為約 $10 - 5$ ，經濾光的圖像有高效率。

與望遠鏡 122 一起使用的曲面光柵濾光系統 120 示意地示於圖 24。在全息濾光器 126 內的全息光柵 124 (圖中實例中在 $H\alpha$ 波長) 是用熱電玻璃貼裝置 128 控制它的溫度來進行細調。一前置濾光器 130 放大偏光鏡 132 之前，偏光鏡 132 用來在濾光器 126 傾斜到使鏡面反射偏軸時使單一的獨特的溶液維持在光柵 124 的布拉格 (Bragg) 條件下。其它的太陽光綫，例如 $C\alpha$ ($3933.7 \text{ \AA}$ 在空氣中) 和 He ($5876 \text{ \AA}$) 可以用全息元件 126 與在不同波長記錄的一個進行交換來進行研究。人們也可以製造具有在同一晶體中記錄的幾個波長的濾光器，只要前置濾光器能容納感興趣的波長。

用裝在望遠鏡中的這種全息 $H\alpha$ 濾光器觀察到的太陽圖像有比立奧濾光器及其它昂貴的現代濾光器有更好的對比度和分辨率。另外，這種濾光器有多重綫和偏軸反射能力，這是現時的濾光器不能實現的。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (77)

全息光學元件

用在全息濾光器中的技術的其它應用是構成全息光學元件，也就是儲存聚焦或發射鏡，或在晶體中的任何要求的光學傳遞作用。這些全息元件只對在記錄全息圖時應用的專門波長反射，而可通過所有其它的波長輻射。

全息鏡用如前面實例的曲面光柵濾光鏡同樣的方法製造。要求的入射和反射波前用作記錄全息圖時的目標光束和參考光束。在最簡單的剛才對曲面光柵 H a 濾光器舉的實例中，入射（參考）波前是發散的球形波、反射（物體）波前是退回入射波前的聚焦的球形波。在這實例中用兩個透鏡來產生要求的波前。一般，通過使用合適的入射和反射波前記錄全息光柵可儲存任何波前的傳送作用。在可以犧牲視場的情況下，偏軸（也就是非逆向傳播）的記錄光束可以使用。

在同一晶體中可記錄多重波長，每個波長有自己的聚焦長度和光束方向。與波長相關的聚焦長度全息光學元件 1 4 0，它是可用於控制在袖珍的光盤機中的讀出激光，該光學元件 1 4 0 可用圖 2 5 所示的組件來記錄。使用了平面參考波和聚焦和逆向傳播的球形波，因此元件 1 4 0 使入射平面波反射並且把它焦到焦點上。從波長控制相干光源 1 4 2 來的光綫被分光鏡 1 4 4 分成兩個平面波，一個是參考光束，從一系列鏡 1 4 6、1 4 7、1 4 8 射出，從一側偏到元件 1 4 0 上。另一光束通過透鏡 1 5 0 或

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (74)

物體光束，從逆向傳播側對元件 1 4 0 撞擊。平面及球形波提供了聚焦在對透鏡 1 5 0 的各位置而言的一預定點上的反射圖像。不同波長的各光欄的聚焦長度通過把透鏡 1 5 0 裝在轉換台 1 5 2 上和在控制器 1 5 4 (它也使波長分段) 的控制下，以對每個波長的小的增量來移動它來改變。這樣，全息元件 1 4 0 包括一鏡，其建造成具有一系列焦點，每個都有自己的獨特的波長，沿著透鏡 1 5 0 的光軸。全息圖按前所述定影及顯影。

如圖 2 6 所示，在一讀出操作中，一可調的波長源 1 5 8 對元件或晶體 1 4 0 照射，通過一分光器 1 5 6。該波長源 1 5 8 可以是例如一激光二極管，其波長取決於被波長控制器 1 6 0 測得的激勵電流。晶體 1 4 0 反射信號，因此它聚焦在一個預定的焦點上。這樣，該系統提供了沒有運動部件而具有電子控制的可變焦點的光源。這對於在袖珍的光碟機中的聚焦伺服機構之類的應用是很有用的。

按照本發明的全息光學元件在需要時可以是極窄的波長選擇，取決於全息圖的厚度。只反射在小於 1 A° 寬的窄光帶中的波長如前面提到的，如此的系統並不侷限於產生聚焦的球形波，但在記錄時可用任何波前來編碼。把它與前述的窄帶濾光器相結合，選頻的全息光學元件可用作望遠鏡中的一個元件，產生可用於天文學、遙感或其它方面的全部自特的窄帶觀察系統。這種系統的一個實例示於

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝·····訂·····線·····

五、發明說明 (75)

圖 2 7，其中在卡塞格望遠鏡中的二次鏡被具窄波長響應的全息鏡 1 6 5 所代替。由初級鏡 1 6 7 射出的光經濾光，並被全息二次鏡反射到圖像平面。這方法也消除了在前述全息濾光器實例中需要的分光鏡，因此增加光通率約四倍。

精確頻率激光器

在這下一個例中，採用了窄線寬度的全息鏡來被動地控制和鎖定激光器的輸出波長。這種激光器可用在光譜學研究、遠程通訊或其它需要精確波長的光源的場合。圖 2 8 所示為一台激光器 1 7 0（法布里—珀羅激光器）的示意圖。激光增益介質 1 7 2 從一外部源 1 7 4 抽進來，從而產生了大量的受激態和光增益。在一全反射鏡 1 7 6 和一部分反射、選頻全息輸出耦合器 1 7 8 之間的空腔內的光反饋引起了受激原子的受激發射，這又造成了通過輸出耦合器 1 7 8 發射的相干激光輸出。採用選頻輸出耦合器 1 7 8 結合一頻率選擇全息圖是為了在增益媒質的全部增益光譜上精確地設定輸出波長。

很多應用場合都要求極其小的激光波長容限。大多數半導體激光器的寬的增益曲線使得激光器可以在一個很寬的波長範圍內工作，因此，溫度或電流的改變（如在調節激光器時）都會引起輸出波長的變化。現有技術中採用了校準器、高 Q 值空腔以及頻率選擇光柵來使得激光器的線

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝訂線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明 (76)

寬度變窄並且將輸出鎖定在一精確的波長上。而現在使用的這些系統中的大部分都有著結構複雜、可靠性低或成本高的缺點。

通過採用全息元件 178 替代輸出鏡中的一個，全息鏡的頻率選擇特性就可用於限定和穩定激光的波長以及減小它的線寬度。全息元件的波長可以設定在所希望的某一點上，這樣它就只在其很窄的光帶範圍內反射，並產生激光。所以，全息元件既被用作反射物又被用作波長限定裝置，這就為產生激光起到了所必須有的反射和透射功用。這種裝置的波長精確性和容限要大大小於採用現有技術所能達到的水平。而且，這是一個沒有運動部件的簡單的裝置。

對於某些激光器來說，全息鏡的另一優點是低的校準要求。在帶有標準反射鏡的普通激光器中，每一個都需要校準到正好是直角以限定空腔。採用全息鏡後，包括增益介質和光折射晶體的這個系統被裝配成其記錄光束按所需的對准空腔，在空腔內它們在光折射晶體上記錄反射光柵，所以它們能夠非常好地限定空腔。

前面所描述的整個全息耦合激光器是一個完全、整體地裝在一殼體內的帶有光折反射光柵的激光器 180。圖 29 所示的裝置為一個分佈反饋激光器，包括一光折射晶體 182，例如摻雜鐵的 LiNbO_3 ，它在其整個長度上都具有反向傳播反射模式的光柵 184。另外，材料中

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (77)

摻雜一種物質，如鉕 (Er) 或釹 (Nd)，這使得基質光折射材料 182 也變成一種激活光增益媒質，這樣當通過光輻射能 186 抽運時它就會產生激光。在加上另一種摻質，如氧化鎂 (MgO) 後，在同一裝置內還可以進行腔內倍頻。

波長分隔多路傳輸

未來的最有前景的遠程通訊技術之一就是波長分隔多路傳輸，或者說在一根光纖中通過許多波長間隔很小的通道傳輸信息。然而，這種方法由於缺少合適的濾光系統以具有足夠的穩定性和選擇性地復合及分離各種波長通道而受到了阻礙。採用現有的技術，至今在一根光導纖維中，最多大約 15 個其波長間隔在約 2 (毫微米/通道) 的通道可以順利地進行波長分隔多路傳輸。體積全息反射光柵為這一復合/分離問題提供了新的解決途徑。

將一系列不同波長的反射模式全息圖記錄固定並顯像在一光折射晶體 190 (例如 LiNbO₃) 上。每個不同波長的全息圖 192a, 192b, 等等以波長 λ_1 , λ_2 , . . . λ_n 分別在不同的位置或以不同的角度記錄下來，請見圖 30 的示意形式。為了簡單起見，圖中省略了光源和其它設備。反射光柵 192a, 192b, 等等是以其反射光束在晶體 190 中共綫地記錄下來。當在這些波長 λ_1 , λ_2 , . . . λ_n 上工作的若干獨立調節的激

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (78)

光器將輸入信號送入時，所有這些輸入信號就會被合併或複合成一個多重波長、共綫的光束，這一光束可通過光纖耦合器 194 引導到一根光導纖維中。為了使其波長段間隔非常小（例如 2 埃）以具備本發明的高容量的優點，就要採用精確的光源，例如前述的全息鏡半導體激光器。

在接收端，另一個光纖耦合器 196 將光導入一個帶有特殊分佈的全息光柵 200a, 200b, 等等的類似的晶體 198 中，只是它方向相反以分解（分離）各種波長成分。相應於波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 的各個反射模式光柵將它們各自的信號反射離軸並進入到它們的輸出口。由於全息光柵的波長帶寬在 0.5 埃級，它們就能分辨互相只隔開二、三埃的各個信號。這就轉變成在光導纖維的通帶內的非常大的信息傳輸容量，所以，在一根光導纖維中可以承載幾百甚至幾千個光通道。

圖 31 示出了另一種波長分隔多路傳輸系統。在複合端，波長複合的平面全息圖以各個波長不同的反射方向記錄在一個光折射晶體 202 上。各個不同波長模式信號由一個如以上所述的精確頻率激光器 204 提供，該激光器通過准直梯度指示 (GRIN) 鏡 205 耦合。這些激光器都各自安裝在一個框架上，這樣它們全都對準具有合適的單獨取向的光折射晶體複合器 202。反射回來的多重波長光束通過一個 GRIN 鏡 207 導入到一根光導纖維連綫 208 中。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (79)

在接收器中，用另一個 G R I N 鏡 2 1 0 來准直從光纖 2 0 8 中出來的輸出信號並使其對準另一個同複合器類似的光折射晶體 2 1 4，只是，同全息光元件例子中一樣，它以彎曲的光柵記錄以使各個反射信號聚焦到它們各自的光電二極管 2 1 6 上。光電二極管很小、很便宜，並可排列成一種簡單、標準的陣列，這可以批量生產在一個單圓片上，或排列成人們希望的任何其它陣列形式。

其它用途

上面所描述的光折射濾光器和反射器的各種特例改變後可用作許多其它新系統或應用場合的核心元件。正交數據儲存裝置可用來作為具有平行可編址性的高容量數字儲存統的一部分。以全息圖形式的數字數據採用正交數據儲存技術存入到光折射晶體中，並可通過掃描各種波長讀出。而且，由現有的空間調光器的相對有限的分辨率所造成的限制可通過將多重、小表面積全息圖記在整個晶體表面來克服。以這種形式，該系統就不再受限於現有的空間光調制器的有限的分辨率。同樣，完全可以在現有技術容量下以合理的成本使用檢測器陣列。這樣，可以採用許多技術來讀出在不同增量區域的多幀圖像。可以使用一個單一光源或一個光源陣列，但是對在一選定範圍的內波長改變能力是有要求的以充分利用其記錄容量。記錄的圖像與光源和檢測陣列之間的相對運動可以通過採用一光束反射系

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝訂線

五、發明說明 (80)

統以使晶體平動，或者通過光源和檢測器的平動來實現，當然還可用其它方式。一百個間隔開的多路傳輸圖像可以記錄在大約 1 cm^2 的晶體上，對圖像之間的間隔或防護頻帶的要求應考慮到由於在容量晶體內衍射造成的微量散射。

對於本領域的行象來說，這種高容量數據儲存的優越性在娛樂性記錄裝置中的意義是很顯然的。因為這種記錄可以連續地讀出，還因為可以採用數據壓縮和分解技術來增加容量，一個每一面 $2 \sim 3 \text{ cm}$ 的晶體在採用價格較低的讀出系統時就可以作為儲存件重放幾小時高反差電視節目。例如，在一特定波長讀出的每幅圖像可以轉儲到兩個緩衝儲存裝置中的一個上，而另一個可以讀出作實時顯示。這個例子設想在每 100 個增量區域有 1000 個全息圖像，在數據以 $10:1$ 的比例被壓縮，且特速率為每秒 10^9 時它包含 10^6 位元數據。

早先所描述的採用傅里爾變換全息圖的正交數據儲存作為關鍵儲存元件的相關器系統可以用來作為自動目標或物體辨認系統的一部分，它將輸入圖像同儲存的“樣板”圖像作比較，並通過相關運算估價與儲存的樣板的相似程度。這種系統的其它用途還有用於缺陷檢測（如半導體器件製造中）的檢測裝置，航測、圖形分辨。

由體積全息圖製成的有調諧能力的窄綫寬度濾光器是獲得新一代分光計、激光光譜分析儀、成像分光計、材料

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (81)

分析儀器以及用於波長多路分隔傳輸系統的光調諧器的關鍵元件。這些濾光器裡，光柵的調諧特性是通過改變入射角、溫度、或通過晶體的電壓來控制的。採用體積全息濾光器和普通的檢測器可從波長通道間隔很小的多重波長源中選中一個特定波長來。這種濾光器還可以用來選擇或排斥一個窄光帶，例如在 L I D A R（激光探測距）、喇曼光譜學、傳感器保護、光通訊解碼以及靜噪濾波中。其有微量波長偏距的多帶濾波器可以記錄在一單一體積上用以分析例如激光二極管這樣的光源的波長變動，或表示一分光計內的發射譜綫。這些濾光器還可以用來將比較便宜的法布里—珀羅激光二極管的輸出波長鎖定在一固定波長上，以達到只有較貴的分布反饋激光器才具備的性能。只反射預定波長和記錄中用的波陳面圖形的全息鏡可用作頻率選擇光學元件或耦合器。前面已敘述了採用這樣一個零件作為輸出耦合器的激光器。通過與一由窄帶全息鏡限定的外部空腔耦合，一個普通的半導體二極管激光器可以被改變成一個高質量的光源。全息鏡還可以用來建造激光器，該激光器的鏡准直可在製造後確定，即使來自一外部激光器的光以所希望的路綫通過空腔以記錄全息反射光柵。由這種功能而得到的激光器裝置的例子有環形激光陀螺儀和激光干涉儀。

波長複合和分解系統的概念是比現有系統優越的許多新的具有波道荷載和信噪特性的計算機和通訊系統的核心

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

五、發明說明 (9)

。在數字電纜電視中，一根光纖可以傳輸幾百個不同的波長頻道，然後再通過可調諧的窄線寬度（微埃分辨率）的全息濾光器分選出來。在地區性或大城市的電視網中，這些全息濾光器使得真正的波長分隔多路傳輸成為可能，它有幾百個具備光導纖維和放大器的發射波帶的不同波長的通道。在海底和陸上長距離光纖通訊中採用本發明所提出的波長分隔多路傳輸方法，可以使現有的系統的容量增加十倍甚至更多。還有，採用這項技術，用波長分隔多路數據傳輸，光計算機傳輸母綫也可製造了。

記錄在光折射晶體上的暫時穩定全息圖像是很有用的，雖然隨著時間流逝，由於曝露在環境光下或者由於相對溫度和光強度讀出照度是單調改變的原因該圖像會逐漸衰滅的。產生全息圖所需的波能在 $500 \text{ J} / \text{cm}^2$ 級上，而合成衍射效率是在峰值，這是因為定影和顯影的緣故而沒有衰滅。相比較，讀出光束能在 0.01 至 $100 \text{ w} / \text{cm}^2$ 範圍內，而且壽命短，所以說，全息圖的衍射效率在每次讀出時只減弱幾分之一。因此，一個給定的晶體可在選定的波長上作為全息濾光器用上很多次，並且再在另一個波長上作為全息濾光器再記錄。當一個暫時穩定全息圖要被增強或改變時，如在用於數據儲存的更新操作中，就需要有記錄和讀出能力。然而，在讀出後恢復其衍射強度相比，改變全息圖需要更多的照明能量。

雖然以上描述了若干種形式和方法，但是應該理解本

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (87)

發明並不限於這些形式和方法，而應該包括在申請專利範圍內的所有形式和應用場合。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝
訂
線

四、中文發明摘要(發明之名稱：

光折射系統及方法

本發明公開了在光折射晶體中進行全息記錄的方法，稱作正交數據存儲，其中反向傳播反射方式全息圖具有多波長，以便形成沿共同軸的光柵。本發明改進了數據存儲能力，能得到更高的耦合系數。不僅如此，這裡還公開了許多裝置，如波長選擇濾光器，透鏡和光相干系統。還公開了寫入和處理暫時穩定的圖象的方法，它提高了光柵的強度，這些光柵是在介質中永久形成的。這些方法選用了電勢和光電特性，以及處理過程中不同的相互關係。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

英文發明摘要(發明之名稱：PHOTOREFRACTIVE SYSTEMS AND METHODS)

A new type of holographic recording in photorefractive crystals is disclosed, termed orthogonal data storage, in which counterpropagating, reflection mode holograms are wavelength multiplexed to form gratings lying along a common axis. It is shown that this configuration provides substantial improvements in data storage capacity in comparison to prior art systems and that higher coupling coefficients are achieved. In consequence, not only storage of data but a wide range of other devices including wavelength selective filters, lenses and optical correlation systems are disclosed. Further, methods of writing and processing metastable images are disclosed which substantially improve the strength of the gratings that are permanently developed in the medium. These methods include advantageous use of electrical potentials and photovoltaic properties, together with different interrelationships during processing.

訂

線

附註：本案已向 美 國(地區) 申請專利，申請日期：1991.7.26 案號：07/736,736
1992.7.2. 07/908,298

六、申請專利範圍

✓ 1. 一種在光折射介質中記錄全息圖的方法，特徵在於包括以下步驟：

在介質中以不同的非諧波相關波長產生多個不同分佈的電子荷反射全息圖；以及

在介質中將該全息圖轉變為多個折射圖的非光敏空間變化係數。

2. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中全息圖在室溫下的半衰期超過50年，並且耦合係數 K_{FIXED} 大於 1 cm^{-1} 。

3. 如申請專利範圍第2項所述之方法，其中介質的厚度與波長間隔成反比，全息圖由反向傳播目標和以垂直於厚度的方向射入介質的基準光束產生。

4. 如申請專利範圍第3項所述之方法，其中波長在毫微米的範圍內，圖像還通過對照射在介質上的從屬光束進行調制產生，每種波長有一個選擇的圖像，並且其中介質具有一個C軸，光束平行於C軸反向傳播

5. 如申請專利範圍第4項所述之方法，其中介質電短路時產生分佈電子荷全息圖，並且當介質電短路時，通過將分佈電荷轉變成離子荷圖的第一轉變，穩定全息圖，而當介質電開路時，改進離子荷圖。

✓ 6. 一種在光折射介質中記錄全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟：

用基準光束和相互作用從屬光束照射介質，使介質中

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

的電荷向干涉光柵移動，基準光束和目標光束處於第一頻率；以及

在相同角度以不同於第一頻率且相互頻率不同的光束重複順序照射，其中擴散場 E_d 大約等於有限空間電荷場 E_q 。

7. 如申請專利範圍第6項所述之方法，其中基準光束和從屬光束以相反方向照射介質，並且其中的方法包括這樣的步驟：通過對介質加熱和中和移動的電荷，將移動的電荷轉變成離子位移。

✓ 8. 一種在厚的光折射晶體中記錄數據的方法，其特徵在於包括以下步驟：

在晶體中產生多個全息干涉圖像，每個干涉圖像具有不同的波長，但是由該干涉圖像確定的干涉帶基本上與一個共同軸平行，當產連續圖像時，照射能量以遞減方式變化；

同時固定所有圖像；以及

同時進行顯影，因此所有圖像都提供基本上相等的讀出衍射率。

9. 如申請專利範圍第8項所述之方法，其中照射能量通過減少照射接續時間來改變的。

✓ 10. 一種在容量記錄材料中記錄多個全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟：

將反向傳播圖像和類似第一波長的基準光束對準沿一

六、申請專利範圍

給定軸的材料，該圖像光束提供空間調制圖像信息，因此第一光柵由於干涉光束在 K_x 、 K_y 、 K_z 空間確定，以及

通過將反向傳播圖像和沿給定軸的基準光束以第二波長對準該材料從而產生第二光柵，因此 K_x 、 K_y 、 K_z 空間中光柵之間的間隔 ΔK 基本上是恆定的。

1 1. 如申請專利範圍第 1 0 項所述之方法，還包括通過將反傳播圖像和沿給定軸的基準光束以各不相同的類似波長對準材料從而進一步產生其它光柵的步驟。

1 2. 如申請專利範圍第 1 1 項所述之方法，其中材料包括一種容量光折射成分，並且波長之間隔開，間隔 ΔK 大於零。

1 3. 如申請專利範圍第 1 2 項所述之方法，其中沿光波方向通過該成分，記錄光柵具有非均勻強度，因此光柵是自變迹的。

1 4. 一種光折射晶體中產生一個改進的、穩定的、高衍射率的容量全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟

:

當保持晶體短路時，在晶體中至少記錄一個電子光柵

;

在晶體中保持場短路時，用離子光柵補償電子光柵；

以及

在晶體中保持強的直流電場時，去除電子光柵。

六、申請專利範圍

15. 如申請專利範圍第14項所述之方法，其中在記錄步驟期間，晶體加熱到使離子熱運動的程度，因此與記錄同時進行補償步驟。

✓16. 一種在光折射晶體中產生基本上是永久性的全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟：

通過對電短路的晶體加熱，中和空間電荷場；

當保持晶體電短路時，通過將晶體暴露在光下產生一個經選擇圖的暫時穩定的電子空間電荷全息圖；

當保持晶體電短路時，通過對晶體加熱，以分佈離子空間電荷圖的形式複製產生的暫時穩定的全息圖；以及

當保持晶體開路時，以均勻的高強度電磁波能量照射晶體，去除暫時穩定的全息圖，並且遺留下光可讀的離子空間電荷圖。

17. 如申請專利範圍第16項所述之方法，其中晶體是在實際上存在電場的情況下被照射的。

18. 如申請專利範圍第16項所述之方法，其中晶體幾何結構和電場是這樣的，擴散場小於有限的離子空間電荷場，並且有限的電子空間電荷場小於光電場和擴散場之和。

19. 如申請專利範圍第18項所述之方法，其中晶體是經選擇的，因此每 cm^3 有大於 10^{17} 的熱運動離子，並且摻雜物超過 0.01%。

20. 如申請專利範圍第19項所述之方法，其中通

六、申請專利範圍

過向晶體中反向傳播相干單頻率的基準和圖像光束，在晶體中沿晶體的C軸產生暫時穩定的全息圖。

21. 如申請專利範圍第20項所述之方法，其中通過採用稍微改變頻率的和具有相互間隨機相位關係的連續單頻率光束，產生多個全息圖。

22. 如申請專利範圍第16項所述之方法，其中產生暫時穩定的電子空間電荷全息圖的步驟和複製該暫時穩定的全息圖的步驟順序進行。

23. 如申請專利範圍第16項所述之方法，其中產生和複製暫時穩定的全息圖的步驟同時進行。

24. 如申請專利範圍第21項所述之方法，其中單頻率光束的帶寬小於2 Å，連續的光束相互的相位無關聯，並且其中單頻率光束的中心頻率被分開小於10 Å。

25. 如申請專利範圍第24項所述之方法，其中將每個單頻率的圖像光束對準與晶體相鄰的傳輸光圖，從而產生圖像。

26. 如申請專利範圍第25項所述之方法，其中選擇晶體使其每 cm^3 具有超過 10^{17} 施主濃度，並且具有足夠的阱，從而產生大於10KV/cm的光電場，並且其中摻雜物超過0.01%。

27. 如申請專利範圍第26項所述之方法，其中在中和步驟中，晶體加熱到大約230℃，其中當記錄暫時穩定的全息圖時對晶體進行電短路的步驟包括用導電透明

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

材料對晶體塗層，其中複製暫時穩定的全息圖的步驟包括加熱晶體到大約 130°C ，並且還包括允許在晶體內形成強光電場時照射晶體的步驟。

28. 一種在光折射介質將暫時穩定的光柵轉變成基本永久的光柵的方法，其特徵在於包括以下步驟：

在具有一定幾何形狀和摻雜物濃度並具有電特性的介質中產生至少一個電荷光柵，因此有限的電子空間荷場 E_q 基本上能與擴散場 E_d 相等；

通過將介質加熱到離子運動的熱狀態，在介質中固定一個離子電荷光柵；並且

通過當保持 E_q 基本與 E_d 相等時用電磁波能量照射介質，形成至少一個光柵。

29. 如申請專利範圍第28項所述之方法，其中光柵是這樣產生的：以寫入方式形成一個分佈電子荷圖，然後對介質加熱一段足夠長的時間，以便建立一個等於該電子荷圖的離子荷圖。

30. 如申請專利範圍第29項所述之方法，其中寫入是在介質保持在電短路條件下時，對介質加熱。

31. 如申請專利範圍第30項所述之方法，其中形成步驟是在介質處於開路條件下和實際上存在一個電場的情況下進行的。

32. 如申請專利範圍第31項所述之方法，其中電場是在晶體內部通過光電效應產生的。

六、申請專利範圍

33. 如申請專利範圍第31項所述之方法，其中當晶體強光照射時，在形成步驟期間施加一個外部電場。

34. 如申請專利範圍第31項所述之方法，其中至少以傳輸方式幾何形狀寫入一個光柵。

35. 如申請專利範圍第31項所述之方法，其中至少在室溫下以反射幾何形狀寫入一個光柵。

36. 如申請專利範圍第35項所述之方法，其中寫入一些光柵，每個都是利用反向傳播光束，並且波長不同。

37. 如申請專利範圍第28項所述之方法，其中當晶體短路同時產生一個電子荷圖和補償離子圖時，通過在升高的溫度下寫入光柵，產生至少一個光柵。

38. 如申請專利範圍第28項所述之方法，包括在介質中順序寫入一些不同波長的光柵，然後通過加熱介質同時固定光柵。

39. 如申請專利範圍第38項所述之方法，其中順序寫光柵是在介質處於短路條件下進行的，並且然後在短路條件下固定光柵。

✓ 40. 一種在光折射介質中產生永久離子光柵的方法，其特徵在於包括以下步驟：

當晶體短路同時產生一個電子荷圖和補償離子圖時，通過在升高的固定溫度下寫入全息圖，產生至少一個處於反射方式幾何形狀的全息圖；

六、申請專利範圍

將介質冷卻至固定溫度以下；以及

當保持 E_q 基本與 E_d 相等時，通過用電磁波能量照射介質，對至少一個全息圖進行顯影。

41. 如申請專利範圍第40項所述之方法，還包括在全息圖寫入光束通路中阻止熱流的步驟。

42. 一種將由電子分佈建立的暫時穩定的全息圖在光折射介質中轉變成永久圖像的轉變過程，取得高轉變率的方法的特徵在於包括以下步驟：

當短路時對介質加熱到使介質中的離子處於熱運動狀態的程度，保持介質的溫度不變，直到離子重新分佈成補償電子分佈的圖，並且當以足夠長的時間在介質中建立一個電場以便將電子恢復到單一分佈時，通過用輻射能量照射介質形成全息圖。

43. 如申請專利範圍第42項所述之方法，其中介質加熱後冷卻至基本等於室溫，並且在介質中通過光電效應對照射作出響應建立電場。

44. 如申請專利範圍第42項所述之方法，其中介質是光折射晶體，並且當晶體封閉在導電塗層中時進行加熱。

45. 一種在一預定範圍內對電磁波能量是光折射敏感的晶體中形成增強的全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟：

通過用電磁波束照射晶體在晶體中產生一個電場變量

六、申請專利範圍

E 1，以便形成晶體中的干涉圖；

同時保持在電短路狀態下的晶體；

在晶體中感應最大的光電電流；以及

移動晶體中的電子到達晶體中的阱位置，直到根據晶體的光折射性質確定空間電荷場。

46. 如申請專利範圍第45項所述之方法，其中晶體具有摻雜物、幾何形狀和光電特性，經選擇後提供阱密度 N_A 和光電常數，因此根據照射形成的光電場大約等於有限的空間電荷場，於是耦合常數 K 基本隨摻雜物的含量的增加而綫性增加。

47. 如申請專利範圍第45項所述之方法，其中晶體是對 400nm 至 800nm 範圍內的波長 λ 光折射敏感的，並且光柵波長 λ 大約等於 $\lambda / 2\eta$ 。

48. 如申請專利範圍第47項所述之方法，其中通過具有相同波長和基本相等強度的抗傳播單色光束產生電場的變化。

49. 如申請專利範圍第45項所述之方法，其中產生電場變化的步驟遵守以下關係式：

$$E_1 = m \frac{E_q (E_p v + i E_d)}{E_d + E_q}$$

六、申請專利範圍

其中 m 是調制系數， E_q 是有限空間電荷場， E_d 是擴散場， E_{pv} 是光電場， E_{pv} 大於 1 KV/cm 。

50. 如申請專利範圍第49項所述之方法，其中

$$E_d = \frac{K_B (K_B T K)}{e}$$

K_B 是波耳茲曼常數， T 為絕對溫度， e 是一個電子的電荷量， $K = 2\pi/\lambda$ ， E_d 大約等於 E_q 。

51. 如申請專利範圍第50項所述之方法，其中

$$E_q = \frac{\epsilon N_A}{\epsilon K} \left(1 - \frac{N_A}{N_o} \right), \quad \epsilon \text{ 是介電常數,}$$

N_A 是離子或阱密度， N_o 是光折射物質的總密度，其中離子或阱密度 N_A 超過 10^{17} 個離子/cm³。

52. 一種在光折射材料中記錄全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟：

跨越晶體建立恆定狀態的電場勢；

在晶體對入射光的光折射敏感段，在晶體內產生光干涉圖；

205097

六、申請專利範圍

建立 E_q ，使 E_q 大約等於 E_d ；以及

在晶體內重新分佈光激活電子，直到建立空間電荷場。

53. 如申請專利範圍第52項所述之方法，其中材料是具有超過 $10^{17} / \text{cm}^3$ 電子施主的晶體，該方法還包括以下步驟：

根據干涉圖，在晶體中重新分佈電子，直到電子附實際被佔據，並且

當阻止跨越晶體的直流電場存在時，在晶體中重新分佈離子荷。

54. 如申請專利範圍第53項所述之方法，還包括在電場存在的情況下中和電子分佈的步驟。

✓ 55. 一種在光折射部件中記錄全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟：

用透明導電塗層遮蓋表面部件；

經過塗層照射晶體內部；以及

在晶體中保持 $E_d \cong E_q$ 。

56. 如申請專利範圍第55項所述之方法，其中照射步驟包括在光折射部件中對相同波長的反向傳播光束進行定向。

✓ 57. 一種使用具有光折射特性材料的方法，其特徵在於包括以下步驟：

用具有 $0.1 \text{ J} / \text{cm}^2$ 至 $1.000 \text{ J} / \text{cm}^2$ 範

六、申請專利範圍

園內的能量密度的反向傳播目標和基準光束，以由於光折射效果由電子位移感應的折射變化形式，建立全息圖，在材料中記錄反射全息圖；

用小於 0.05 W/cm^2 強度的基準光束短時期反覆照射全息圖，以便獲得反射圖，該圖顯著削弱了記錄的全息圖；以及

檢測在照射從全息圖得到的反射。

58. 如申請專利範圍第57項所述之方法，其中所說的步驟還包括反覆照射圖像以便獲得反射，以及每次照射時檢測該反射的步驟。

59. 如申請專利範圍第58項所述之方法，還包括以下步驟：記錄多個具有相取同但工作波長不同的反射全息圖，用經選擇工作波長的各個光束照射材料，並且檢測在每個經選擇的波長產生的圖像。

✓ 60. 一種全息儲存器件，其特徵在於包括：

一種光折射部件，其中大範圍地置有多個反射全息圖，全息圖包括由在不同的非諧波波長下的反向傳播波前形成的干涉光柵。

61. 如申請專利範圍第60項所述之器件，其中非諧波波長置於從 λ 至 $\lambda/2$ 的波長帶內。

62. 如申請專利範圍第61項所述之器件，其中多個反射全息圖包括由具有大約小於 $1 \text{ \AA}$ 帶寬的光束波前形成的光柵。

六、申請專利範圍

63. 如申請專利範圍第62項所述之器件，其中光折射部件是具有C軸、並用至少一種雜質摻雜的晶體，全息圖用橫截平面部件C軸的光柵定向。

64. 如申請專利範圍第63項所述之器件，其中全息圖用數據調制。

65. 如申請專利範圍第64項所述之器件，其中預定的波長是大約500nm，部件是LiNbO₃，摻雜物是至少0.01%的Fe。

✓ 66. 一種光折射晶體的特徵是具有至少一個在其中記錄的全息圖，該全息圖包括遍及晶體的干涉光束和反向傳播光束的形成物。

67. 如申請專利範圍第66項所述之晶體，其中耦合係數K超過大約1cm⁻¹。

68. 如申請專利範圍第67項所述之晶體，其中全息圖包括多個干涉光束，每個沿一給定軸排列，並且具有不同的非諧波相關周期，其中光束具有在室溫下超過50年的半衰期。

69. 如申請專利範圍第68項所述之晶體，其中干涉光柵包括通過干涉基準和目標光束，由給定波長的相干波能量產生的光柵，並且光基本橫截C軸。

70. 如申請專利範圍第69項所述之晶體，其中波能量具有的波長在400至800nm的範圍內，在給定波長的波能量的帶寬小於大約1Å，晶體是鋰酸鋁，超過

六、申請專利範圍

每 cm^3 10^{17} 光折射雜質，並且超過每 cm^3 10^{17} 熱運動離子。

✓ 7 1 . 一種高密度數據儲存裝置，其特徵在於包括：

具有多個固定的和在其中形成的全息圖的介質，每個全息圖都具有一個反射方式幾何結構，不同的全息圖在不同的中心頻率反射。

7 2 . 如申請專利範圍第 7 1 項所述之儲存裝置，其中反射全息圖是反傳播光束的形成物。

7 3 . 如申請專利範圍第 7 2 項所述之儲存裝置，其中全息圖是在 λ 至 $\lambda/2$ 範圍內的中心頻率反射的，介質具有預定的厚度，並且其中全息圖由經過介質厚度的非均勻光柵強度分佈變跡的。

7 4 . 如申請專利範圍第 7 3 項所述之儲存裝置，其中變迹是經過介質厚度和非匹配光束通路由非均勻干涉關係從吸收提供的。

7 5 . 如申請專利範圍第 7 4 項所述之儲存裝置，其中有超過 100 個不同波長的全息圖，波長差別小於 5 Å。

7 6 . 如申請專利範圍第 7 5 項所述之儲存裝置，其中介質是光折射晶體，並且全息圖確定具有沿晶體厚度的光柵波矢的光柵。

✓ 7 7 . 一種圖像儲存裝置，其特徵在於包括：

具有 C 軸的光折射晶體，並且含有至少大約 0.01

六、申請專利範圍

% 的摻雜濃度，晶體還具有產生內部光電場的能力，每 cm^3 小於 10^{17} 的電子阱和每 cm^3 大於 10^{17} 的熱運動補償離子，晶體還包括至少一個穩定的平面光柵全息圖，具有沿 C 軸正弦分佈的變化係數。

✓ 78. 一種以最小的相互干擾，高密度地儲存具有大量數據信息的圖像的光折射圖像儲存裝置，其特徵在於包括：

儲存在裝置中作為在不同波長的衍射圖的多個反射方式全息圖，K 空間代表在給定弧和大約給定的焦點區的中心確定曲綫帶的全息圖，帶的間隔很小，並基本上是保角的，但不重疊。

79. 如申請專利範圍第 78 項所述之圖像儲存裝置，其中裝置包括具有 C 軸的光折射部件，並且衍射圖包括多個平面光柵，它們沿 C 軸以折射變化係數分佈。

80. 如申請專利範圍第 79 項所述之圖像儲存裝置，其中全息圖是反向傳播光束的產物，在代表數據調制的全息圖 K_x 、 K_y 、 K_z 空間中具有基本恆定的間隔 ΔK ，因此，當用經選擇波長的光照射該裝置時，反射圖象之間的相互干擾被降到最小。

✓ 81. 一種光折射型晶體，其特徵在於包括：

非光敏離子的密度 (N_A) 超過 10^{17} cm^{-3} ，電子施主密度 (N_D) 超過 10^{17} cm^{-3} ，電子阱密度 (N_{D^+}) 小於 10^{19} cm^{-3} ，並且其中的全息圖

六、申請專利範圍

包括至少一個容量分佈衍射光柵，它的光柵波長基本在工作波長以下。

82. 如申請專利範圍第81項所述之晶體，其中光柵的耦合係數 K 大於 1 cm^{-1} ，並且在室溫下光柵具有超過50年的穩定壽命。

83. 如申請專利範圍第82項所述之晶體，其中晶體的厚度為 d ，並包括與厚度成正比的 y 個不同光柵波長的衍射光柵，它們遍及晶體廣泛分佈。

✓ 84. 一種在具有基本平行於厚度方向的 C 軸的光折射晶體中寫入全息圖的系統，其特徵在於包括：

可選擇波長的相干光源，該光源包括用於將波長保持在被選擇波長的大約 $1 \text{ \AA}$ 之內的裝置；以及

光系統裝置，用來將從光源發出的相干光束以基本上反向傳播的方向對准晶體，光束基本上與晶體中的 C 軸平行，並且光束的通路長度在晶體厚度的中心基本相等。

85. 如申請專利範圍第84項所述之系統，包括在一條光束通路中的裝置，用於用數據對光束進行空間調制。

86. 如申請專利範圍第84項所述之系統，包括在兩條光束通路中的裝置，用於在晶體上的兩條光束中建立平面波前。

87. 如申請專利範圍第84項所述之系統，包括在至少一條光束的通路中的裝置，用於將一條非對準光束對

205097

六、申請專利範圍

準晶體。

✓ 88. 一種寫入數據的系統，其特徵在於包括：

一塊光折射晶體；

光源裝置，用於將不同波長的相干光波前以反傳播方向對準晶體，在其中形成干涉光柵；

以單方向置於光波前通路中的圖像裝置，用於用數據對光波進行調制；

控制光源裝置以改變光波前波長的裝置；以及

控制圖像裝置以改變每個波長的數據的裝置。

89. 如申請專利範圍第88項所述之系統，其中光源裝置包括一可調激光器，包括分光器的對光波前定向的裝置，以及以反向傳播方向將強度相等的平面光束對準晶體的反射裝置，其中從激光器到晶體中心的光波前通路的長度基本相等。

90. 如申請專利範圍第88項所述之系統，其中光源裝置包括多種不同波長的可轉換的相干光源。

91. 如申請專利範圍第88項所述之系統，其中圖像裝置包括在一個波前通路中的空間光調制裝置，其中光源裝置包括光系統裝置，用於在一部分晶體區域提供從屬的和基準的光束，其中空間光調制裝置擁有從屬光束的至少一個基本區域，並且還包括用於在光束和系統中引入相對運動的裝置，因此，區域分開的干涉光柵圖寫入晶體。

92. 如申請專利範圍第91項所述之系統，其中引

205097

六、申請專利範圍

入相對運動的裝置包括這樣的裝置，它將不同的干涉光欄圖以陣列圖形式排列，中間有隔離帶。

✓ 93. 一種數據讀出系統，其特徵在於包括：

包括多個反射全息圖，用從晶體中反射光的至少一種波長的光束照射介質的裝置；以及

置於介質的反射側，用於檢測至少一個反射圖像的至少一部分的裝置。

94. 如申請專利範圍第93項所述之數據讀出系統，其中反射全息圖包括不同波長的反向傳播光束的干涉產物。

95. 如申請專利範圍第93項所述之系統，其中照射介質的裝置包括一個可變波長激光器。

96. 如申請專利範圍第93項所述之系統，其中照射介質的裝置包括多個可獨立操作的激光源。

97. 如申請專利範圍第93項所述之系統，其中照射裝置包括一個寬帶光源，它擁有一些反射圖的波長，並且其中系統還包括可變帶通濾光器，它置於照射裝置和檢測裝置之間，以便限制落在檢測裝置的光，使其在一個經選擇的帶中。

98. 如申請專利範圍第93項所述之系統，其中全息儲存裝置包括多個區域分隔記錄全息圖，每個圖包括一些不同波長的全息圖，照射裝置包括將一個照射光束對準介質的任何經選擇的全息圖的裝置，檢測裝置包括並行讀

六、申請專利範圍

出數據的離散檢測部件的一個陣列，並且系統將從經選擇的全息圖得到的反射光對準檢測部件的陣列的裝置。

✓ 99. 一種大規模數字數據只讀儲存系統，其特徵在於包括：

容量光折射部件，具有多個窄段、波長不同的反射圖，包括在其中分佈的數字數據，每個基本上都其它的共同擴展；

以至少一個分佈全息圖的波長的讀出光束照射部件的裝置；以及

檢測從全息圖反射的輻射中的數字數據的裝置。

100. 如申請專利範圍第99項所述之系統，其中介質中的全息圖的半衰期超過50年。

101. 如申請專利範圍第100項所述之儲存系統，其中在一種反向傳播反射方式幾何形狀中記錄一個全息圖。

102. 如申請專利範圍第100項所述之儲存系統，其中一個或多個全息圖作為光柵儲存，其光柵平面垂直於讀出光束的標定方向。

✓ 103. 一種將至少入射電磁波能量光束的一段隔開的裝置，其特徵在於包括：

光折射裝置，具有至少容量在其中分佈的衍射圖，該圖包括引起離子位移的周期性變化應力，該圖具有一給定的光柵波長和定位，並且進一步限定了經選擇波長段的入

六、申請專利範圍

射波能量的反射全息圖，因此給定波長の入射波能量沿給定通路反射。

104. 如申請專利範圍第103項所述之裝置，其中至少有兩個入射光束，光折射裝置包括至少一個固定的和形成的衍射光柵，它是反向傳播光束的產物。

105. 如申請專利範圍第104項所述之裝置，其中入射光束是共綫的，並且至少有兩個光柵，在不同的定位角度進行反射。

106. 如申請專利範圍第103項所述之裝置，其中入射光束是共綫的，並且圖像沿光束的通路分開排列，並與沿隔開通路反射不同波長的通路成一角度。

107. 如申請專利範圍第106項所述之裝置，其中晶體具有C軸，圖形具有平行於C軸的光柵矢量，並且共綫光束的方向與圖形成一角度，因此，與入射光束大約成90°進行反射。

108. 如申請專利範圍第107項所述之裝置，其中入射光束是單色的，每個都在小於大約10Å的段內。

109. 如申請專利範圍第103項所述之裝置，其中經選擇的波長被反射，其它波長被經過光反射裝置傳輸而隔開。

✓ 110. 一種從入射光波能量中至少分離出一個經選擇波長的光分量的裝置，其特徵在於包括：

光反射部件具有C軸和在之中的基本永久的衍射光柵

六、申請專利範圍

，光柵是一反射圖，具有經選擇的光柵波長，並與入射波能量成一角度，以便以預定的方向反射波長分量。

1 1 1 . 如申請專利範圍第 1 1 0 項所述之裝置，其中部件包括至少兩個共同擴展的衍射圖，設置用來將沿不同通路的不同波長定向。

1 1 2 . 如申請專利範圍第 1 1 0 項所述之裝置，其中衍射光柵是平面的，反射作為對準光束的經選擇波長的對準的入射波能量。

1 1 3 . 如申請專利範圍第 1 1 0 項所述之裝置，其中衍射光柵彎曲，反射作為非對準光束的經選擇波長的入射波能量。

✓ 1 1 4 . 一種用於電磁波輻射的濾光器，其特徵在於包括：

光反射部件具有超過大於將被濾除的輻射波長的幅度兩個數量級的厚度，部件具有超過大於將被濾除的輻射波長的幅度兩個數量級的厚度，部件具有從中分佈的全息圖，全息圖由不同於部件的小於 1 % 的折射變化係數確定，並在經選擇的波長對照射到的輻射進行反射。

1 1 5 . 如申請專利範圍第 1 1 4 項所述之濾光器，其中全息圖確定用於照射輻射的反射阻礙濾光器，並且其中全息圖是反向傳播平面波前的產物。

1 1 6 . 如申請專利範圍第 1 1 4 項所述之濾光器，其中全息圖是球面的，並且是反向傳播彎曲波前的產物。

六、申請專利範圍

1 1 7 . 如申請專利範圍第 1 1 4 項所述之濾光器，其中在具有 C 軸、至少 0 . 2 m m 厚的光折射材料中寫入全息圖，並且該全息圖具有基本橫截 C 軸的光柵。

1 1 8 . 如申請專利範圍第 1 1 4 項所述之濾光器，包括不同波長的共同擴展的多種反向傳播窄帶全息圖，這些波長間的時間隔大約等於每個全息圖的帶寬。

1 1 9 . 如申請專利範圍第 1 1 4 項所述之濾光器，保護檢測器不受額外輻射，其中部件具有在每個所需要的波長反射的儲存的全息圖。

✓ 1 2 0 . 一種在發射遠距離輻射目標圖的輻射中觀測變化的系統，其特徵在於包括：

將從沿一光軸的遠距離目標發出的輻射定向裝置；

沿光軸設置的光折射晶體裝置，還包括在至少一個波長的反射方式衍射圖；以及

將從晶體裝置反射的輻射送至一觀測器的裝置。

1 2 1 . 如申請專利範圍第 1 2 0 項所述之系統，其中晶體包括多種衍射圖，每個在其自身特定的波長寫入。

1 2 2 . 如申請專利範圍第 1 2 0 項所述之系統，其中晶體裝置包括在 6 5 6 2 . 8 Å 的 $H\alpha$ 波長的一個衍射圖。

1 2 3 . 如申請專利範圍第 1 2 0 項所述之系統，其中晶體裝置具有一個平面，晶體裝置中的衍射圖相對於平面是傾斜的，因此，從平面反射的光與從全息圖的反射成

六、申請專利範圍

一角度，並且其中系統還包括調整從晶體裝置中反射的波長的裝置。

1 2 4 . 如申請專利範圍第 1 2 3 項所述之系統，還包括光通路中晶體裝置之前的輻射分光裝置，用於從晶體反射的輻射沿第二光軸定向，沿第二光軸設置的目鏡裝置，沿第二光軸設置用於吸收反射的裝置，以及用於調整晶體的溫度控制裝置。

1 2 5 . 如申請專利範圍第 1 2 3 項所述之系統，其中用於對輻射定向的裝置還包括晶體上的抗反射塗層裝置，並且其中的調整裝置還包括將晶體裝置相對於光通路傾斜一個角度的裝置。

1 2 6 . 如申請專利範圍第 1 2 0 項所述之裝置，其中反射方式衍射圖包括彎曲光柵，用作以一個經選擇的聚焦長度對反射的波能量聚焦。

1 2 7 . 如申請專利範圍第 1 2 6 項所述之裝置，還包括望遠裝置，用於集中從遠處目標來的輻射圖，並具有一個經選擇的聚焦長度，衍射圖的曲率與望遠裝置匹配，因此入射光綫對光柵來說是正常的。

✓ 1 2 8 . 一種全息透鏡系統，其特徵在於包括：

具有多個共同擴展的全息圖的光折射晶體裝置，每個全息圖確定不同波長的反射聚焦透鏡，每個不同的透鏡具有不同的聚焦點。

1 2 9 . 如申請專利範圍第 1 2 8 項所述之透鏡，其

六、申請專利範圍

中全息圖是反向傳播球面從屬波前和平面基準波前干涉的產物。

130. 如申請專利範圍第129項所述之透鏡，其中全息圖在波長為400nm至800nm的範圍內反射。

131. 如申請專利範圍第130項所述之透鏡，其中全息圖是從不同的中心波長小於10Å的窄段反射的。

✓132. 一種將一些在不同通路上的相干光束轉換到一個共同的光束通路的裝置，其特徵在於：

在共同光束通路中的光折射晶體裝置，具有多個置於光束通路中的單獨的全息圖，全息圖反映與共同光束通路成角度的不同的單獨波長；以及

在以一角度截斷不同全息圖的光束通路中提供多個具有不同的單獨波長的裝置，因此，各個光束被反射到共同的光束通路。

133. 如申請專利範圍第132項所述之裝置，其中晶體裝置具有C軸，與共同光束通路成一角度，全息圖包括一預定角度的C軸且沿共同光束通路隔開的光柵，每個光柵對所有其它波長，而不是經選擇的波長傳輸。

134. 如申請專利範圍第132項所述之裝置，其中裝置是一個波長多路轉換器，各個輸入光束對準晶體，並且沿共同光束通路結合在一起。

135. 如申請專利範圍第134項所述之裝置，其

六、申請專利範圍

中 C 軸與共同光束通路成 45° 角，各個輸入光束與 C 軸成 45° 角對準不同的光柵。

136. 如申請專利範圍第 132 項所述之裝置，其中全息圖包括一些在共同光束通路中的反射光柵，光柵相對於照射區的共同光束通路具有不同的角度，因此，照射光束的不同波長反射到共同光束通路。

✓137. 將多波長光束轉變成不同波長的多個單獨光束的裝置，其特徵在於包括：

置於共同光束通路中的光折射裝置，包括多個形成的全息光柵，每個光柵在不同的光波長反射，光柵在相對於共同光束通路的晶體中以逐漸增加的和有差別的方式排列；以及

以一定角度和位置多個單獨的光束對準光折射裝置的裝置，因此反射的光束處於不同通路。

138. 如申請專利範圍第 137 項所述之裝置，其中全息光柵沿共同光束通路相互隔開，並與分別反射不同波長的部分成一角度，光束以其它波長傳輸。

139. 如申請專利範圍第 137 項所述之裝置，其中全息光柵在共同照射區域相對於共同光束的角度不同，因此，相對於共同照射區域，在不同的角度反射不同的波長。

140. 如申請專利範圍第 139 項所述之裝置，其中全息光柵具有彎曲部分，因此從中的反射被聚焦在所選

六、申請專利範圍

擇的區域。

1 4 1 . 一種雷射，其特徵在於包括：

限定激光增益介質一個光軸的激光腔裝置；

向激光增益介質提供泵激能量的裝置；

在沿光軸的激光腔裝置第一端位置的反射裝置；以及

在激光腔裝置第二端位置的頻率選擇輸出耦合裝置，

該輸出耦合裝置包括光折射晶體裝置，該晶體裝置又包括至少一個反射全息圖，該全息圖在經選擇的波長反射波能量，以便提供全息鏡。

1 4 2 . 如申請專利範圍第 1 4 1 項所述之雷射，其中輸出耦合裝置是一種光折射晶體，包括多個反射全息圖，每個對應於增益介質的產生雷射的方式都有不同的波長，因此，它在經選擇的波長反射波能量。

1 4 3 . 如申請專利範圍第 1 4 1 項所述之雷射，其中增益介質是包括摻雜物的光折射介質，它提供一種有源增益介質，還包括從外部泵激增益介質的裝置，並且全息鏡附著在增益介質上。

1 4 4 . 如申請專利範圍第 1 4 3 項所述之雷射，其中增益介質是摻有 Nd 的鋯酸鋰，而全息鏡是摻有 Fe 的鋯酸鋰。

1 4 5 . 一種分佈反饋雷射，其特徵在於包括：

用某種材料摻雜的光折射介質，從而使之成為有源激光增益介質，以及沿光折射介質的全部長度寫入的全息反

六、申請專利範圍

向傳播反射光柵。

1 4 6 . 如申請專利範圍第 1 4 5 項所述之雷射，其中雷射是具有另外 N d 摻雜的摻有 F e 的鋯酸鋰，並且是一種雙重腔內鋯酸鋰。

1 4 7 . 一種相關器系統，其特徵在於包括：

可控裝置，用於提供沿一選擇的光通路在可選擇的波長的相干光束；

在光通路中的空間光調制裝置，用於空間調制光束，以便在選擇的波長從中傳輸一個輸入圖像；

在傳輸輸入圖像的通路中的傅里爾變換透鏡裝置；

在傅里爾變換輸入圖像的通路中的容量全息儲存裝置，所說的儲存裝置具有多個窄帶反射傅里爾變換全息圖，每個圖是在不同的波長，圖像反射儲存裝置包括一個生成圖像，並且經傅里爾變換透鏡裝置定；以及

從經傅里爾變換透鏡裝置傳輸的傅里爾變換結果檢測一個預定相關性的裝置。

1 4 8 . 如申請專利範圍第 1 4 7 項所述之相關器系統，其中全息圖是反向傳播光束多路傳輸結的波長。

1 4 9 . 一種將一個輸入圖像和基準圖像關聯的方法，其特徵在於包括以下步驟：

儲存多個基準圖像的反射傅里爾變換全息圖，每個圖具有一個不同的波長；

將輸入圖像的傅里爾變換圖像對具有連續不同波長的

六、申請專利範圍

反基準圖像；

產生反射結果的傅里爾變換；以及

從傅里爾變換結果檢測相關性。

150. 如申請專利範圍第149項所述之方法，其中儲存的全息圖是反向傳播目標光束和基準光束的結果，並且其中反射結果圖像的傅里爾變換是由反向傳播產生的。

✓ 151. 一種在體積光折射部件中記錄至少一個全息圖的方法，其特徵在於包括以下步驟：

將具有選擇波長的目標光束和非平面波前對準第一側的部件；

將具有選擇波長的基準光束對準與第一側方向相反的第二側的部件；以及

以足夠的強度和持續時間保持光束，以便在限定彎曲的衍射光柵的部件建立記錄的干涉圖。

152. 如申請專利範圍第151項所述之方法，其中目標光束具有彎曲的波前，並且基準光束具有平面波前。

153. 如申請專利範圍第151項所述之方法，其中目標光束和基準光束二者都具有彎曲的波前。

154. 如申請專利範圍第153項所述之方法，其中目標光束在部件中變換，基準光束在沿與變換目標光束相反的光束角度的部件中變換。

六、申請專利範圍

✓155. 一種在光折射晶體中採用平面反射表面寫入非調制的平面光柵的方法，其特徵在於包括以下步驟：

將與晶體相鄰的反射平面定位，將通過晶體的相干光束定向，以便從反射平面反射並返回晶體，因此反向傳播波在晶體中確定一個干涉圖。

156. 如申請專利範圍第155項所述之方法，其中晶體具有基本垂直於其寬面的C軸，其中反射表面與垂直於C軸的晶體相鄰，並且相干光束通過晶體對準沿晶體C軸的反射表面。

157. 如申請專利範圍第155項所述之方法，其中反射表面是直接置於晶體表面上的一層塗層。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

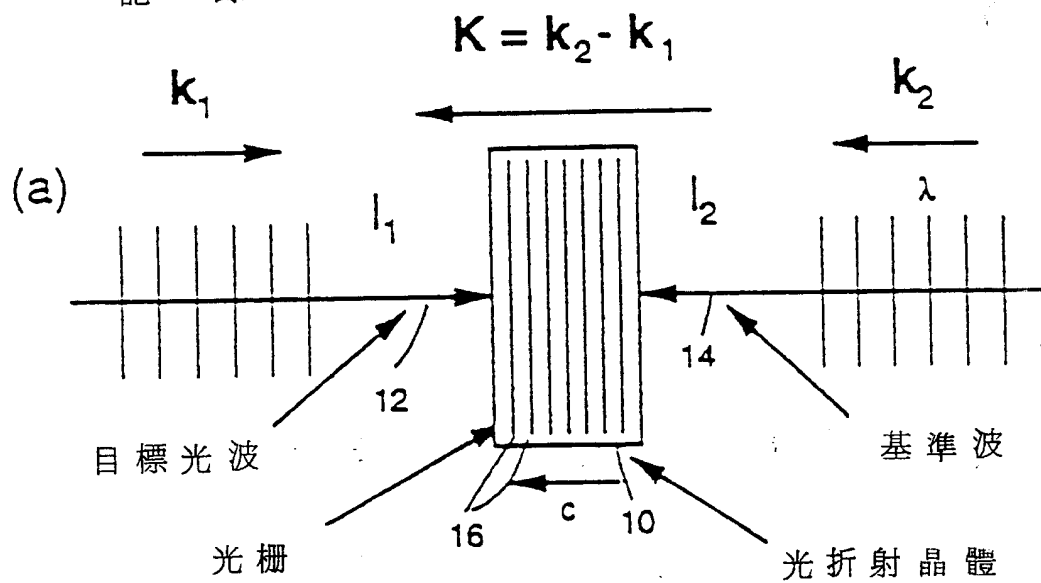
裝

訂

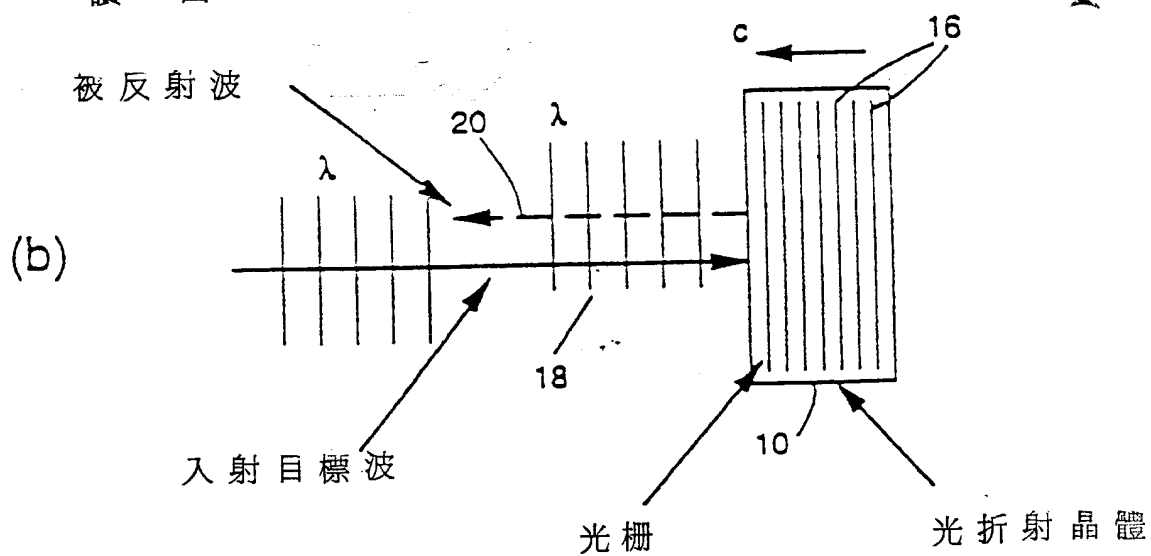
線

第 1 圖

記 錄

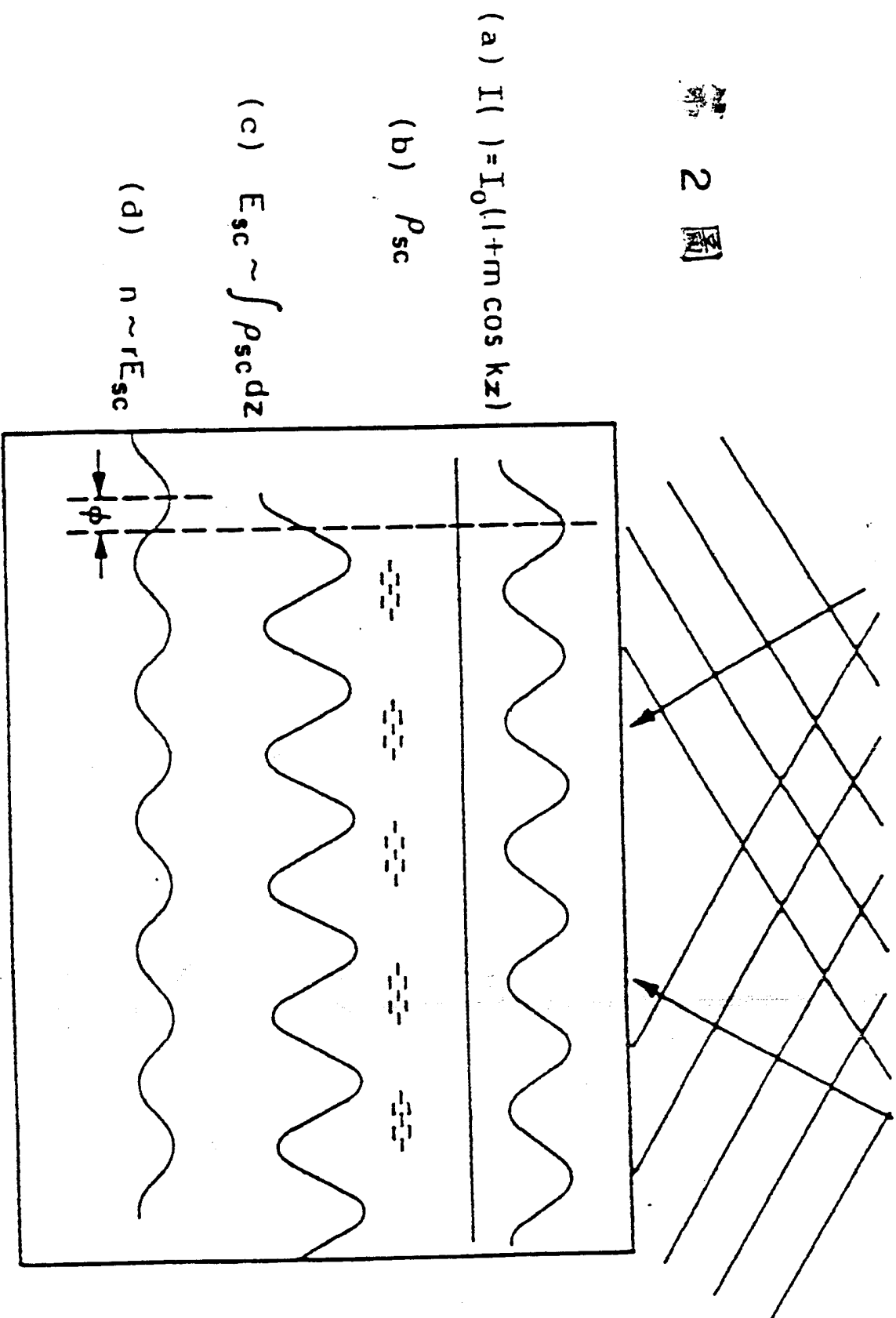


讀 出

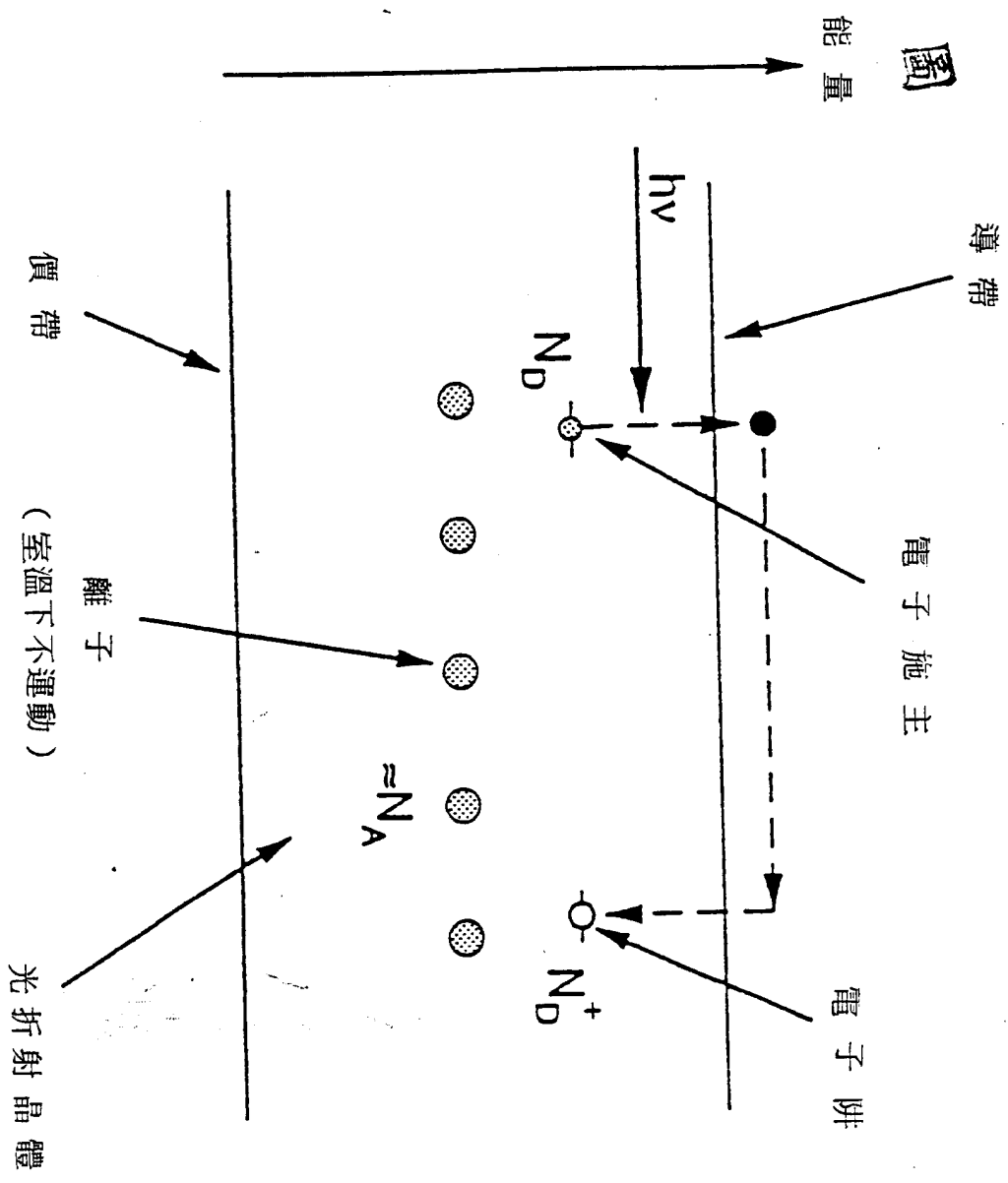


干 擾 入 射 光 束

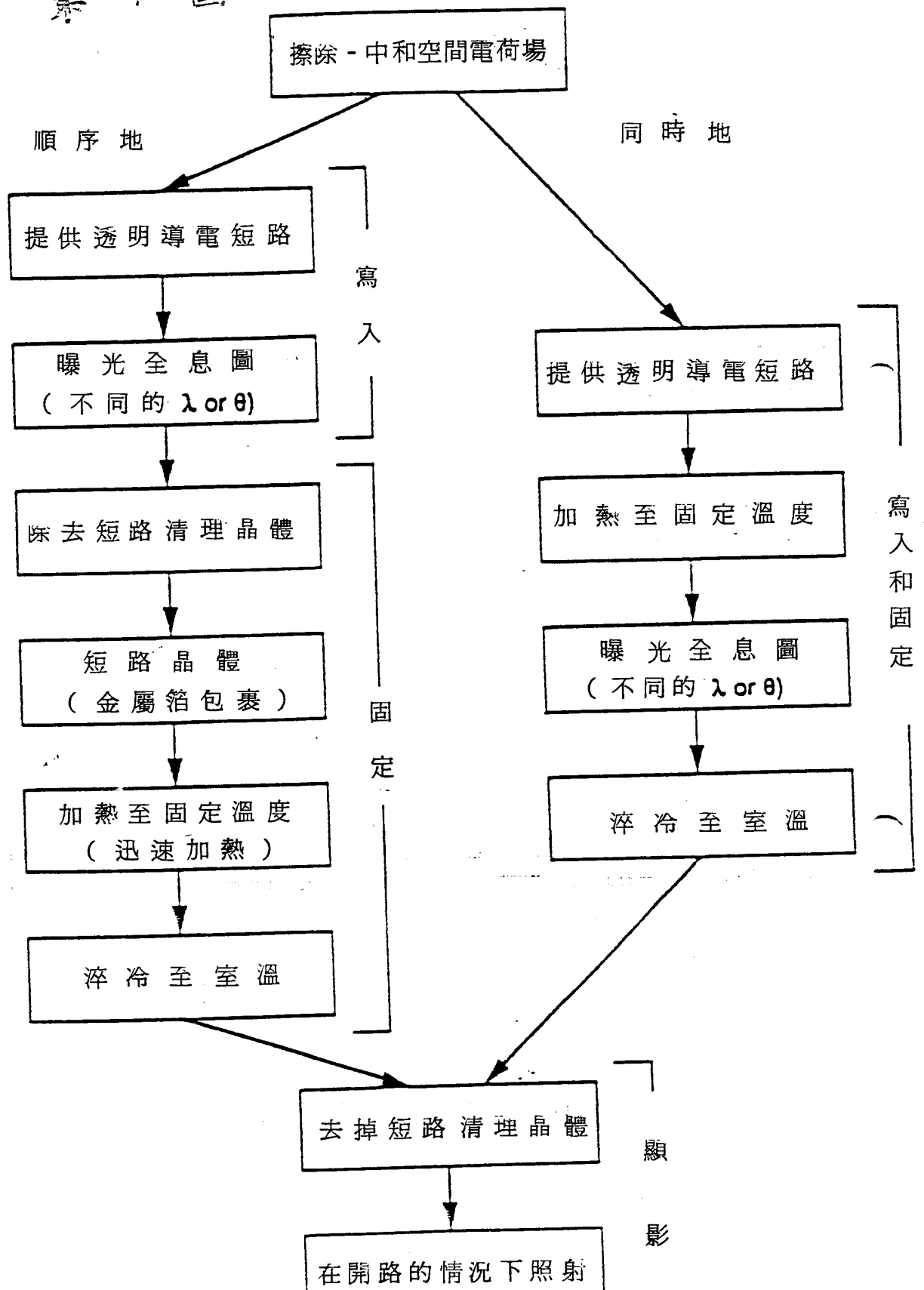
2 圖



第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖

反 射 率 與 耦 合 常 數

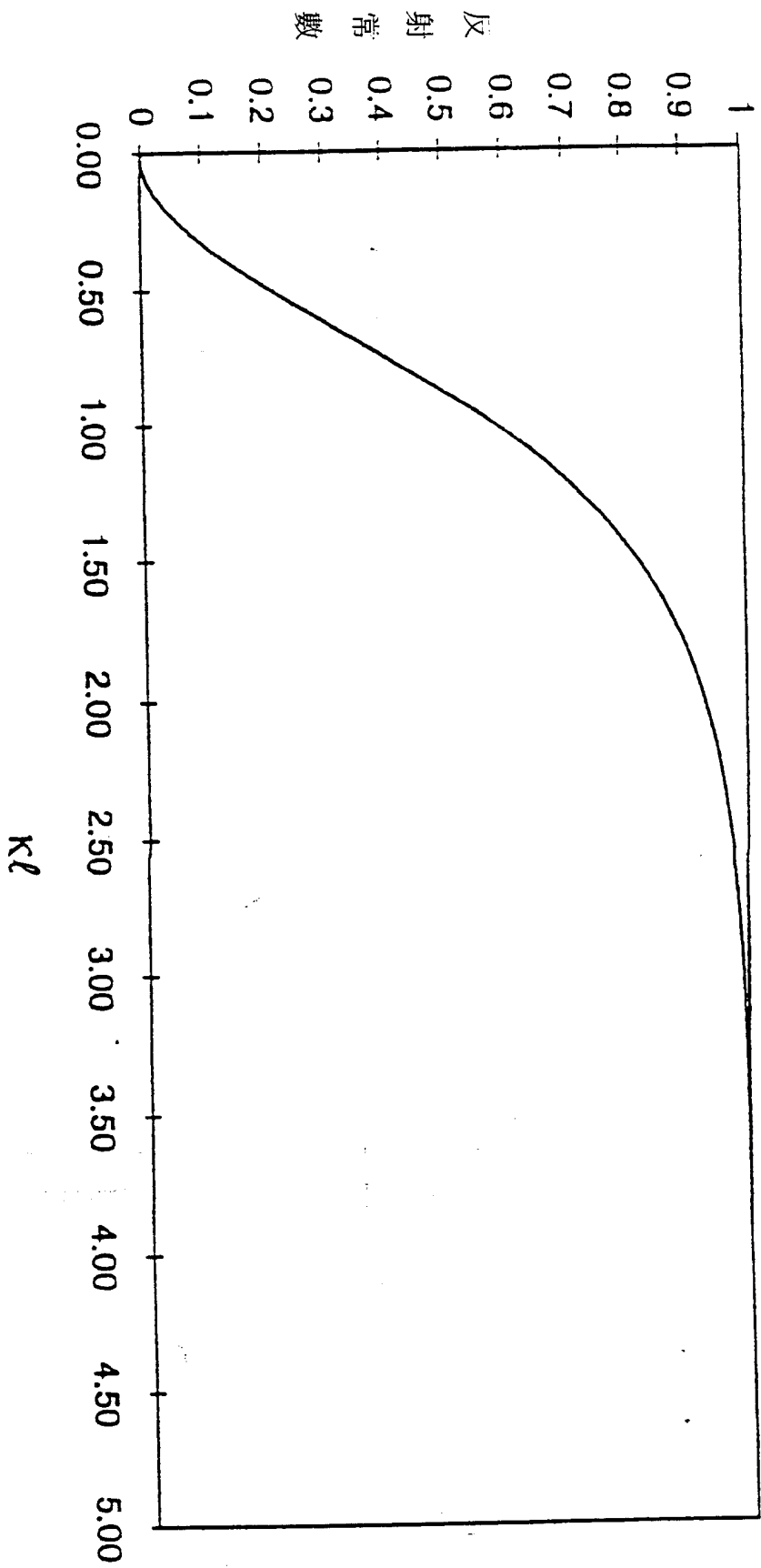
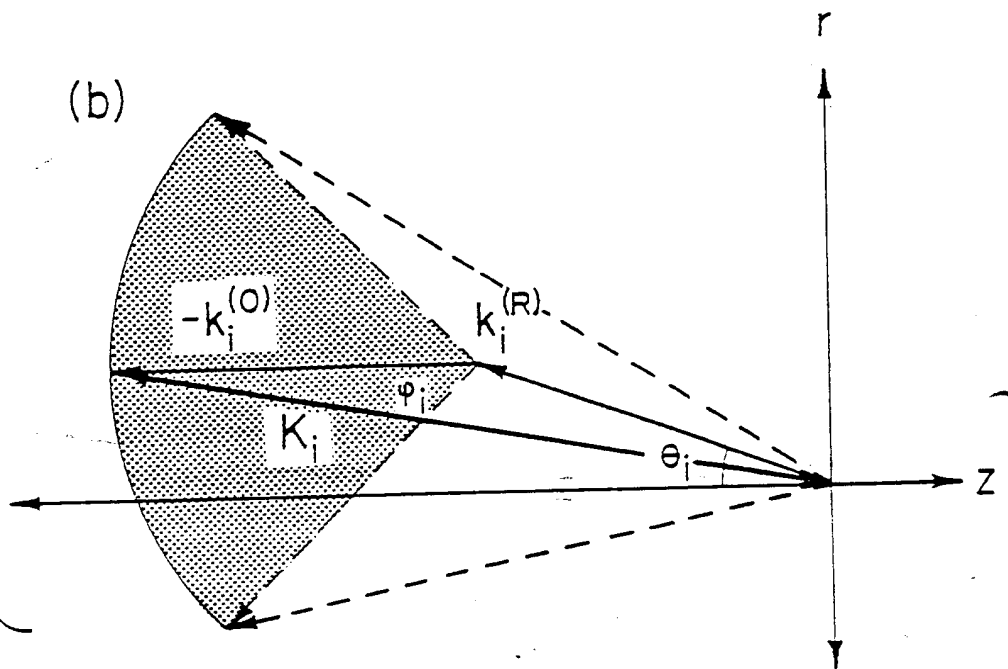
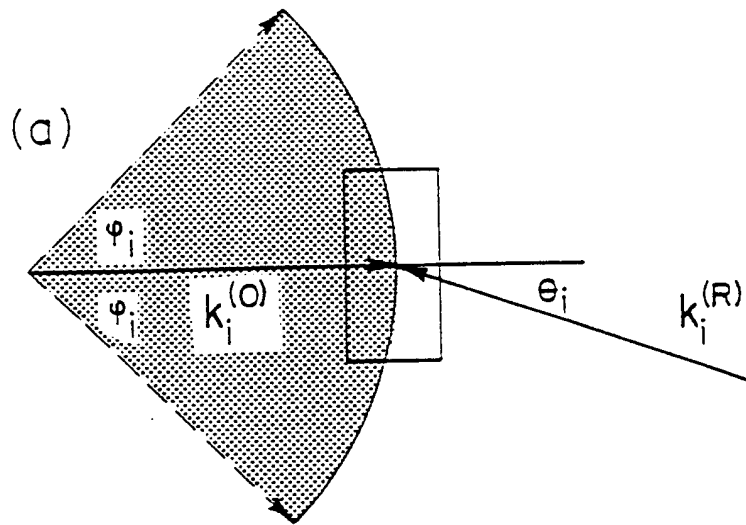
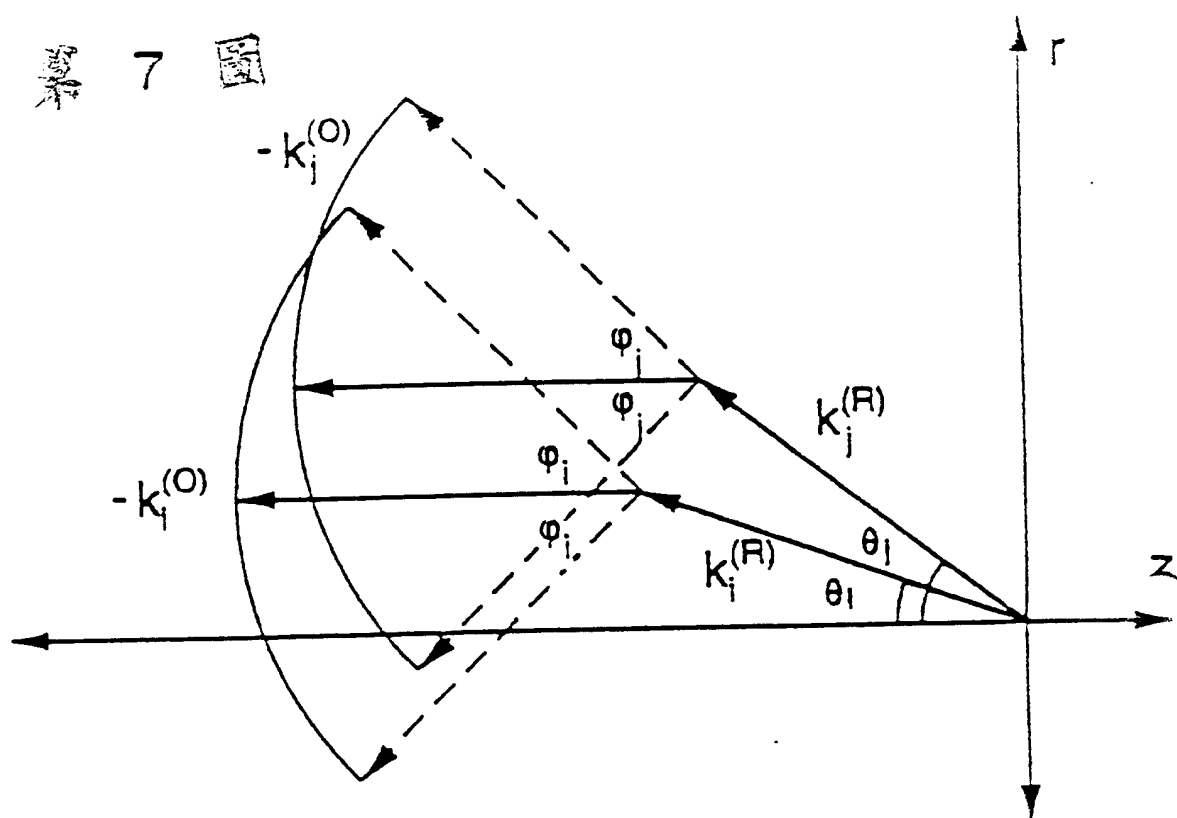


Fig 6



第 7 圖



第 8 圖

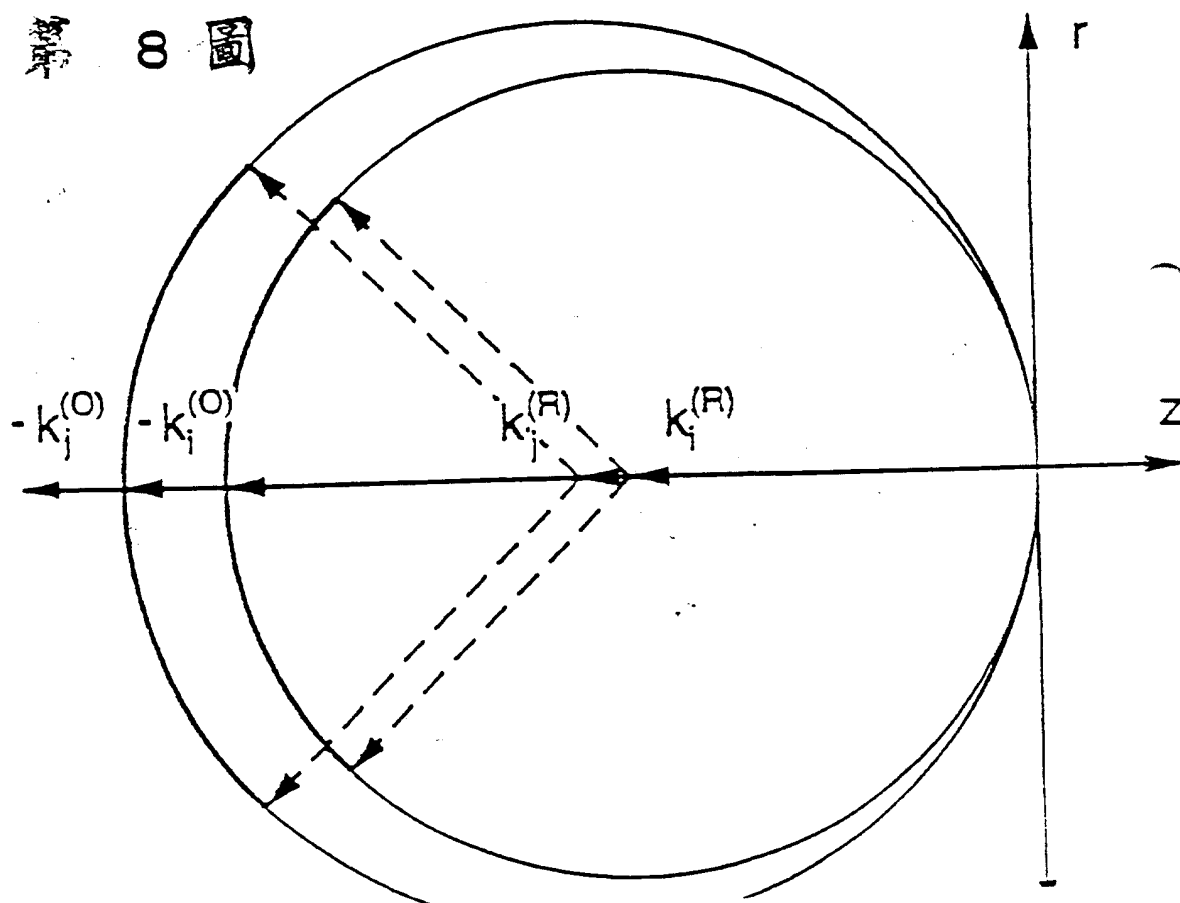
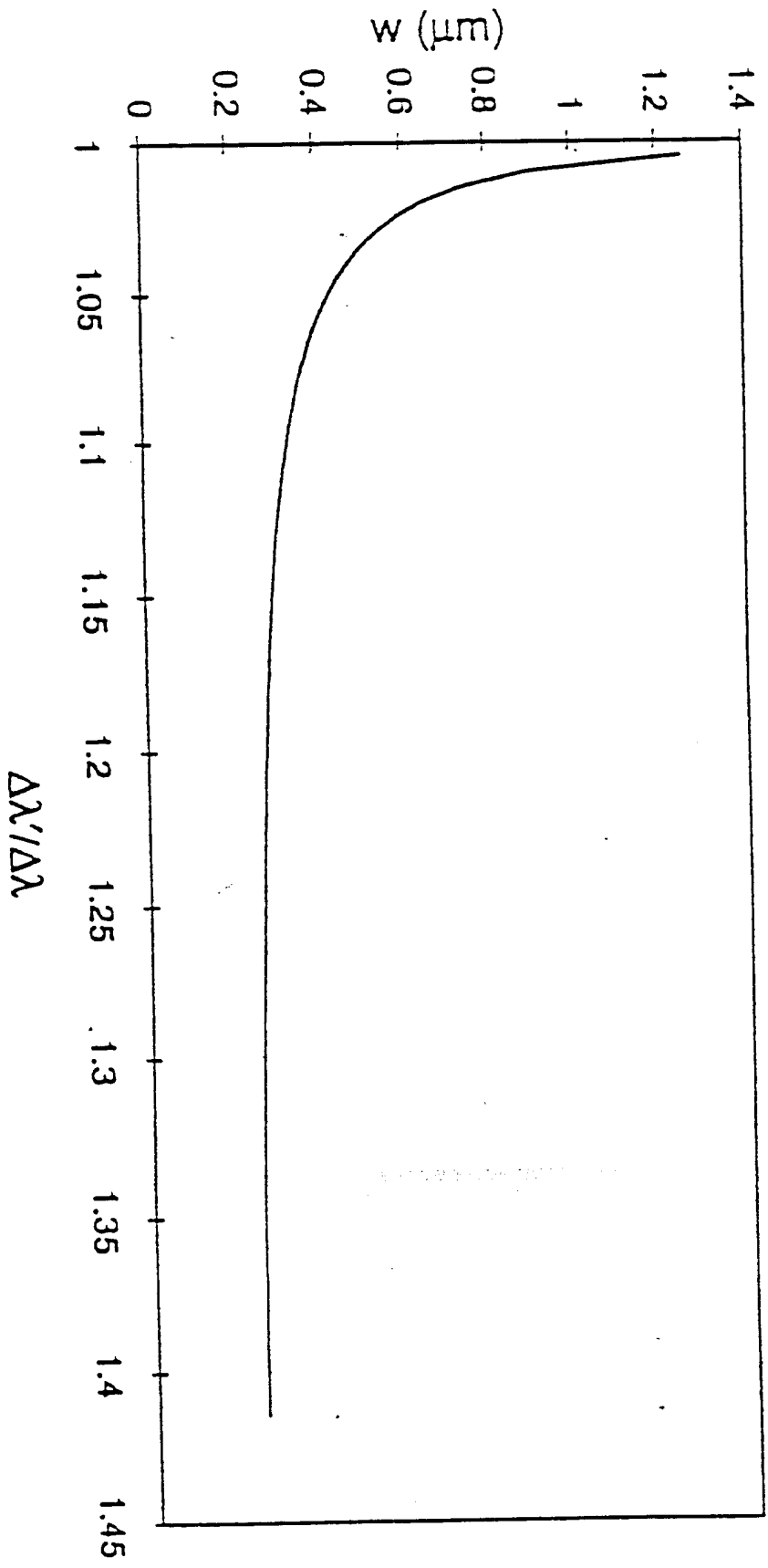


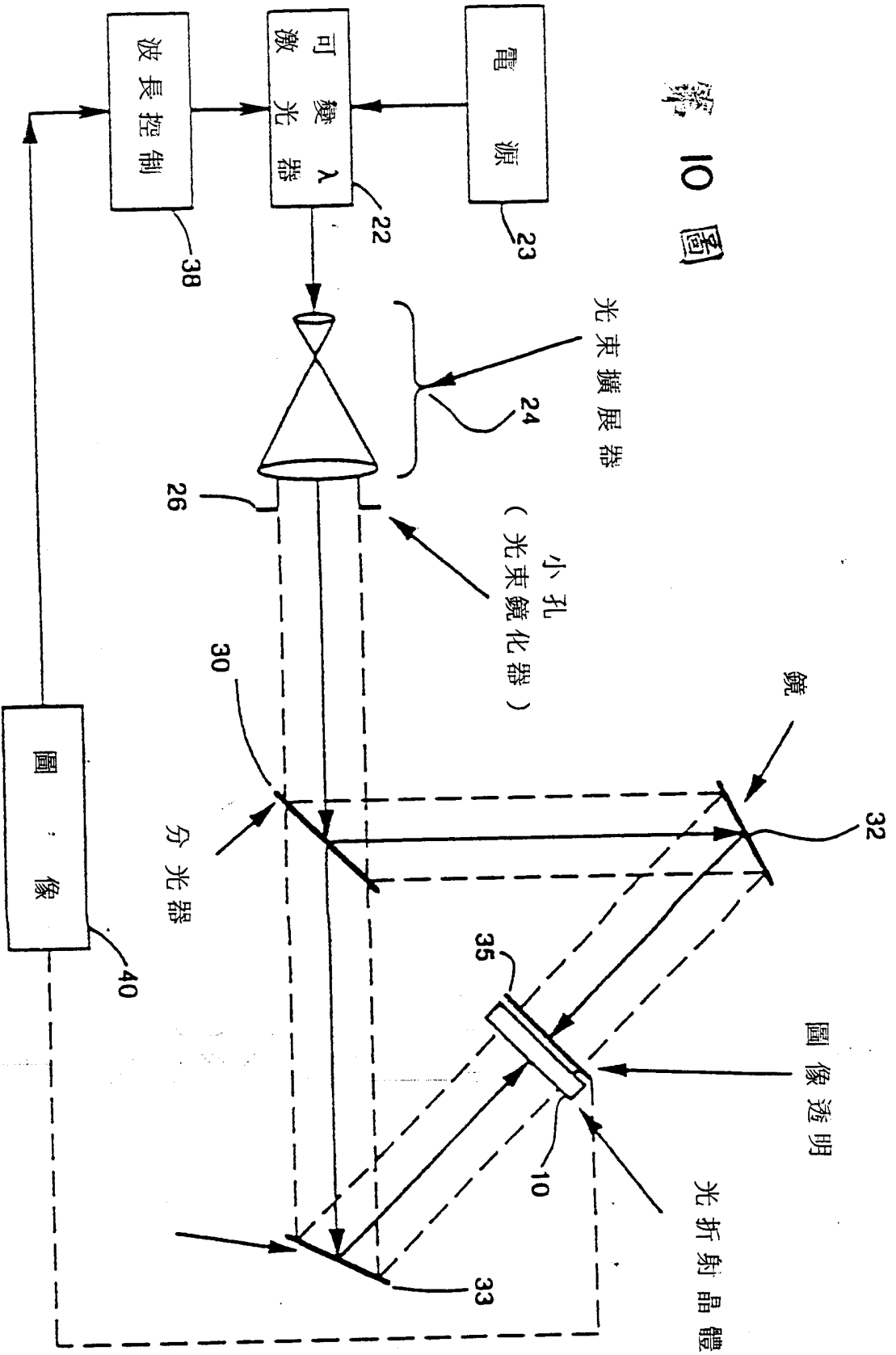
圖 9

最小分辨率

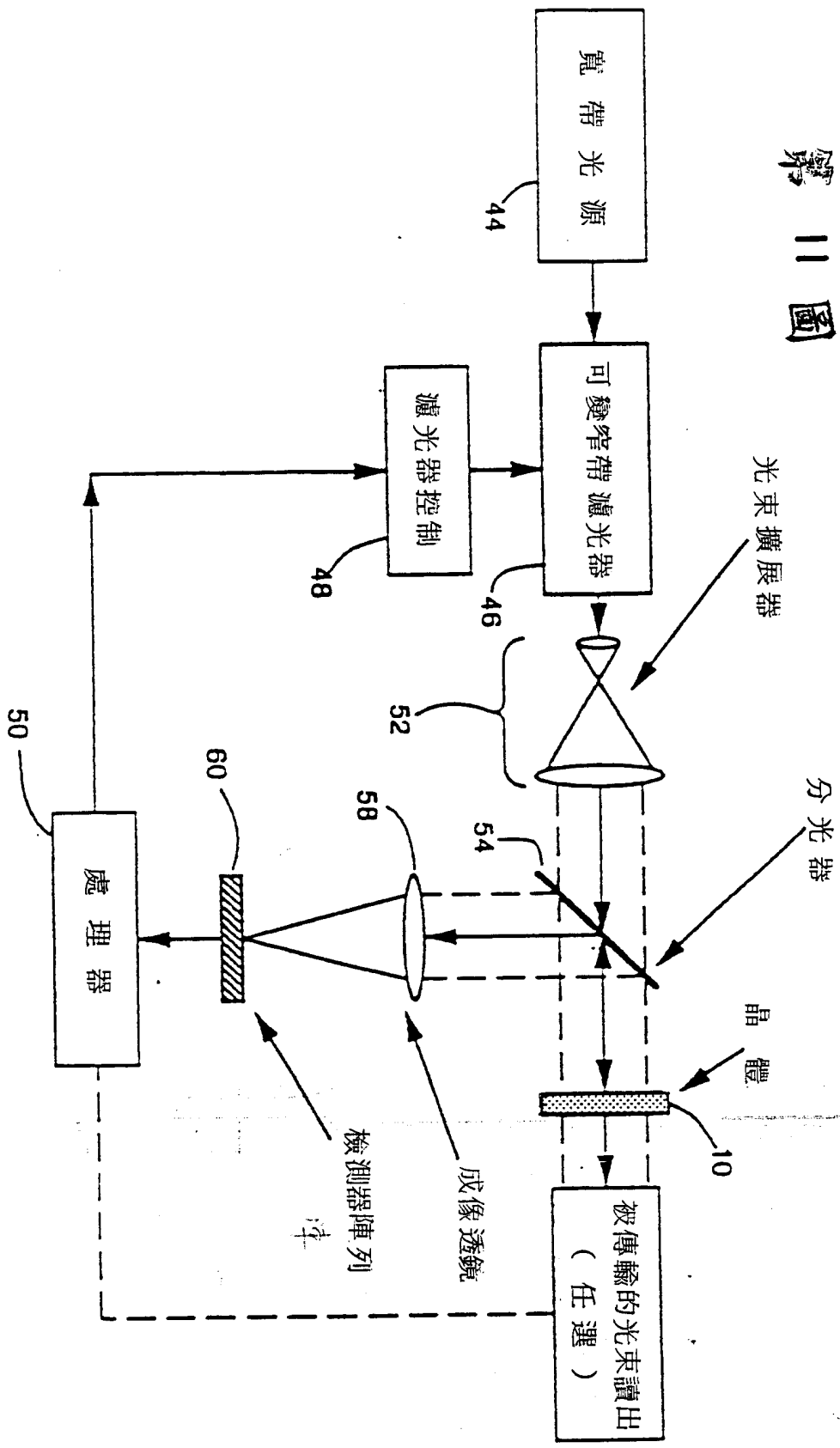


205097

第 10 圖



第 11 圖



第 12 圖

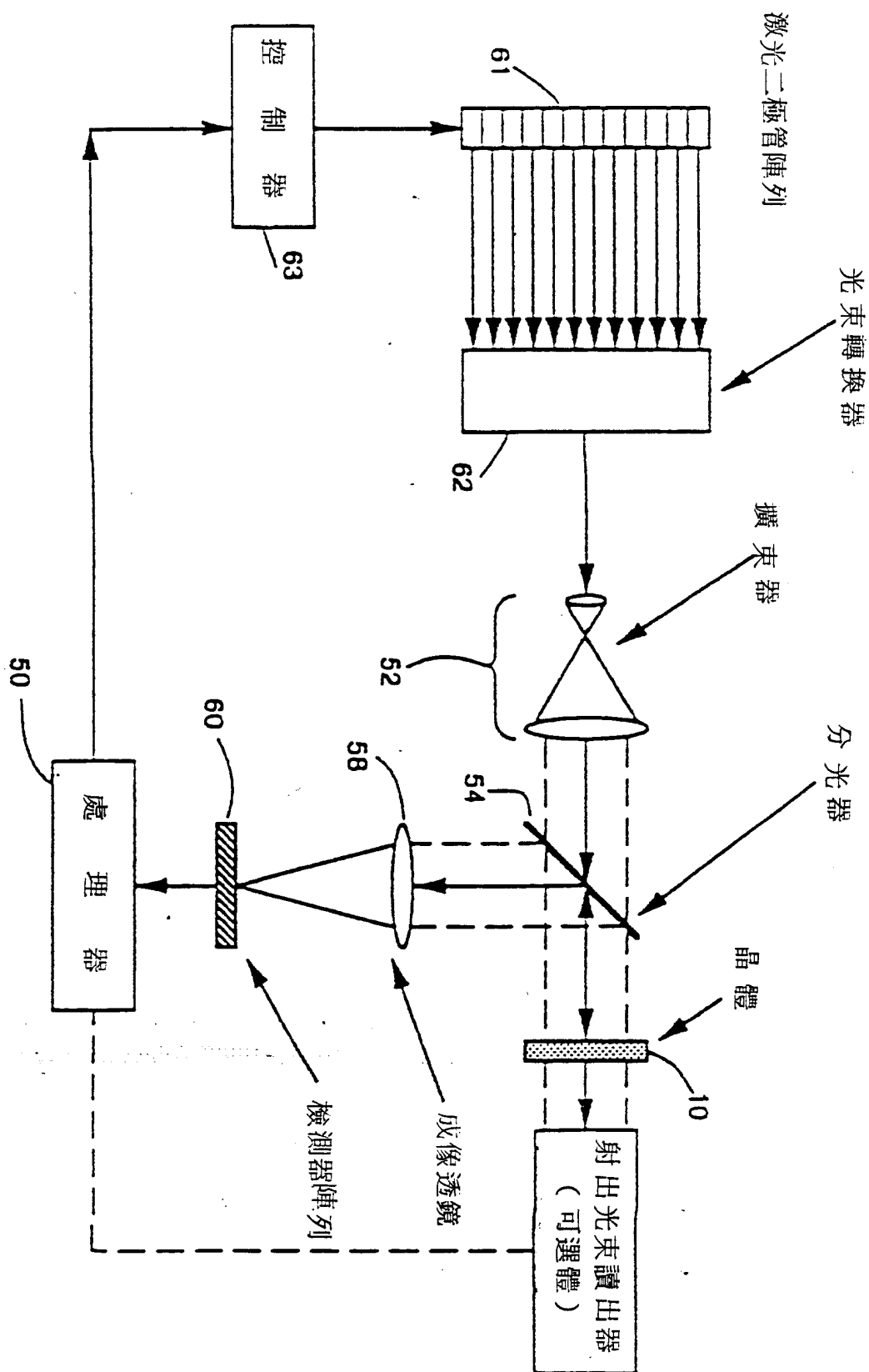
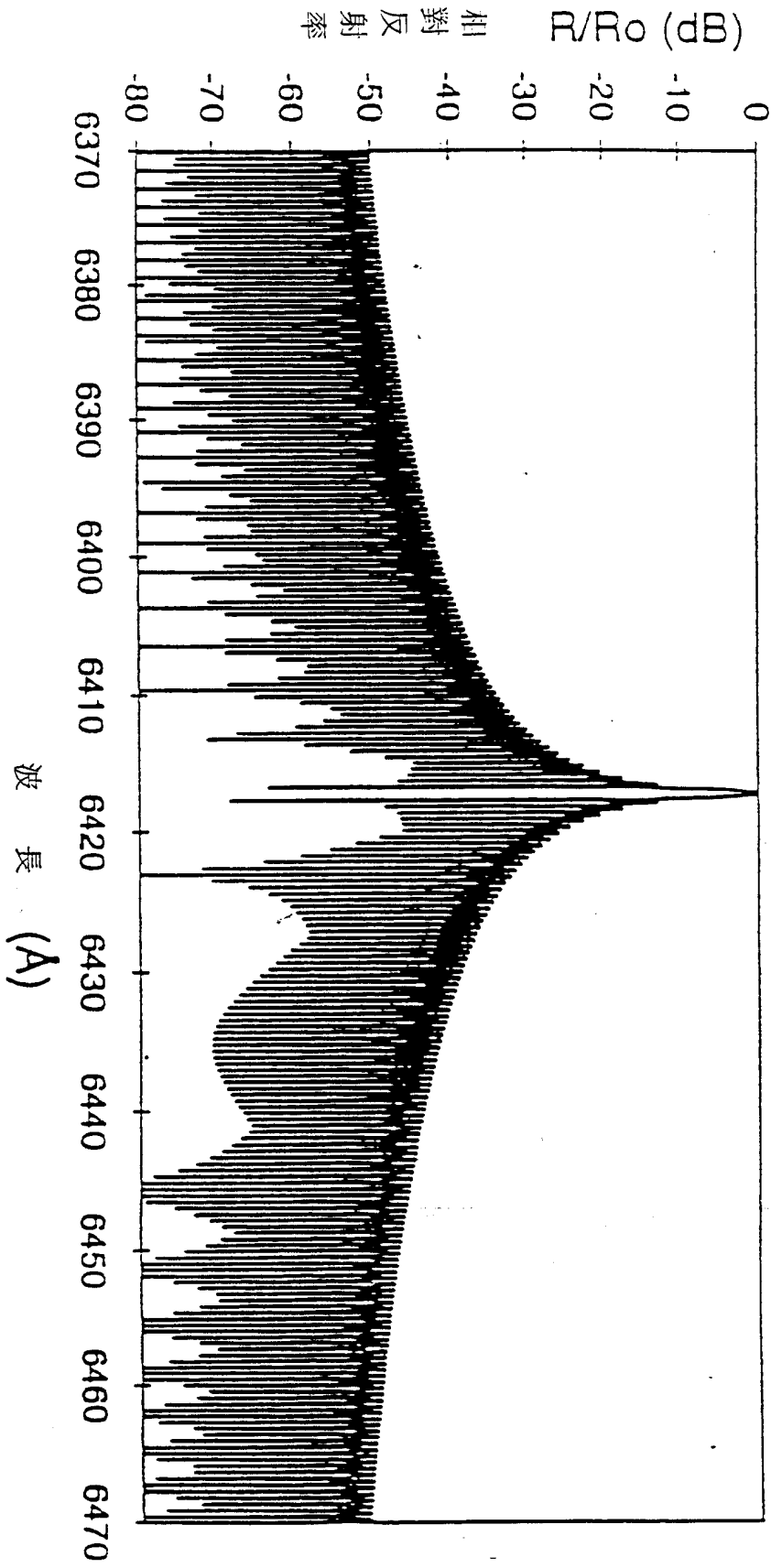


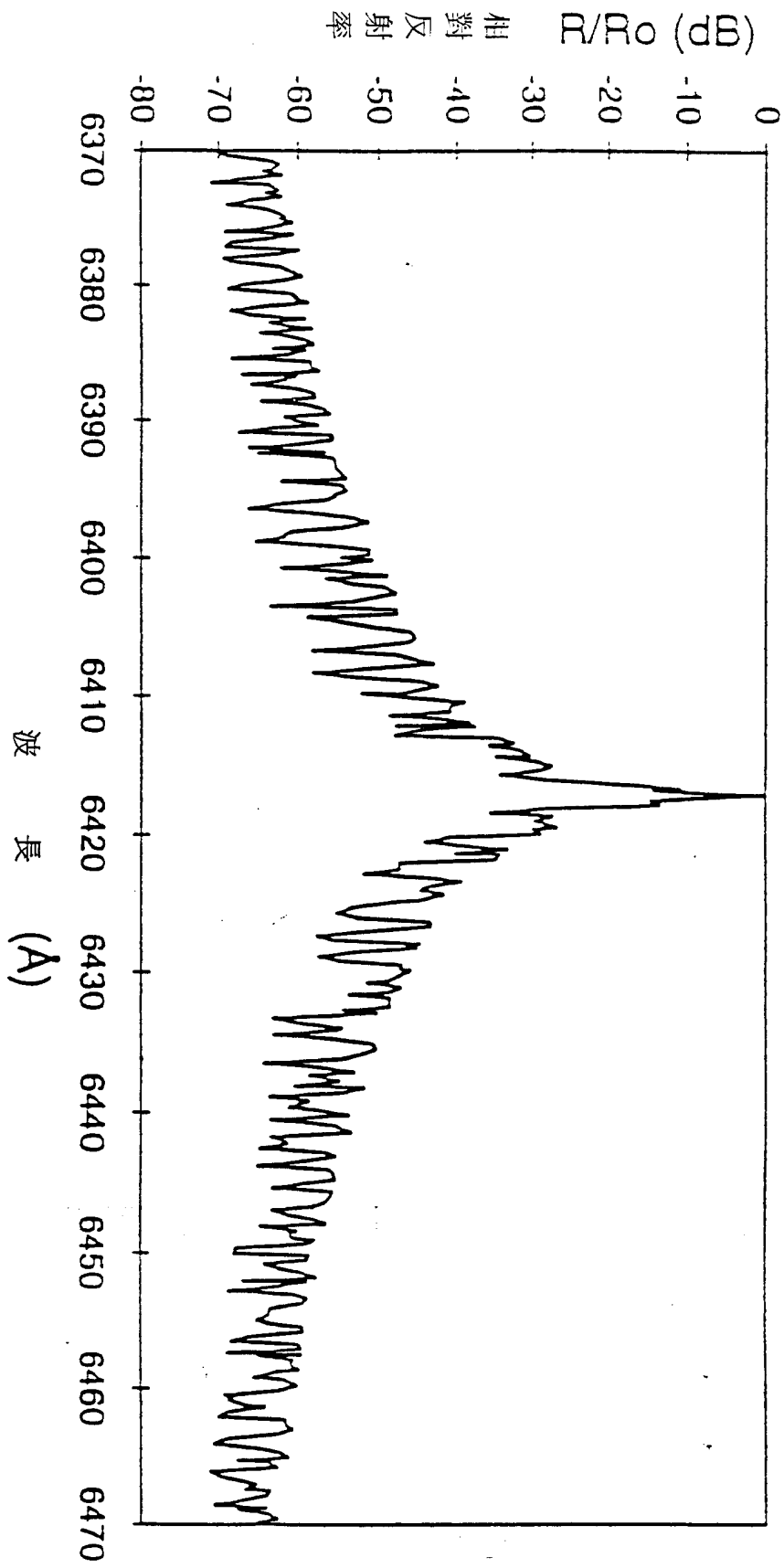
圖 13

光 柵 反 應 (理 論 值)



第 14 圖

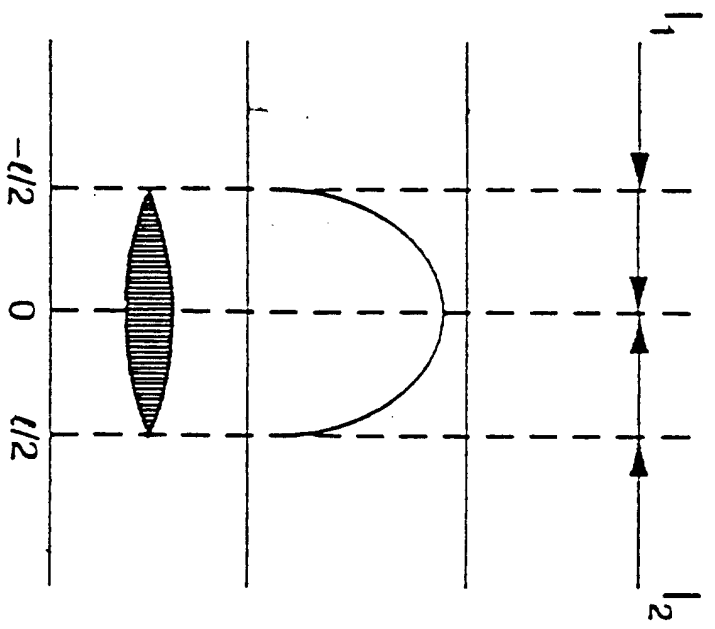
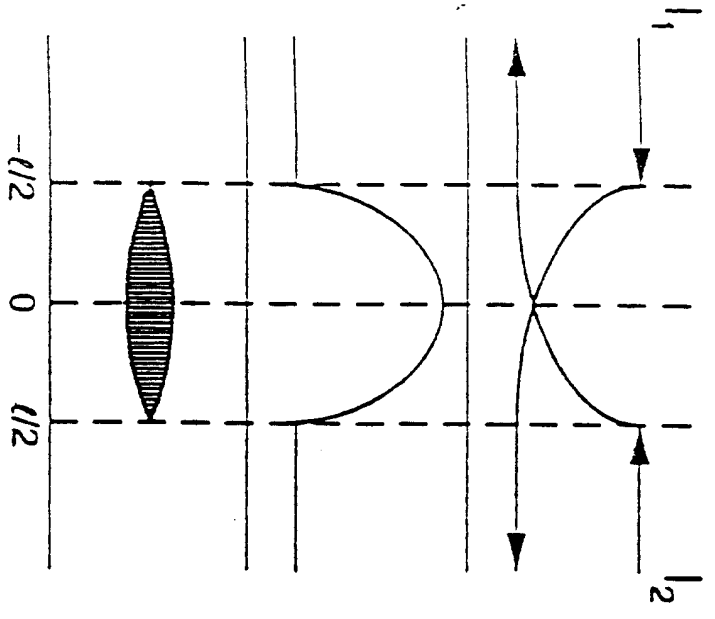
光 柵 反 應



205097

吸 收

相干波長失配



(A) 逆向傳播波束強度

(B) 調制深度或係數

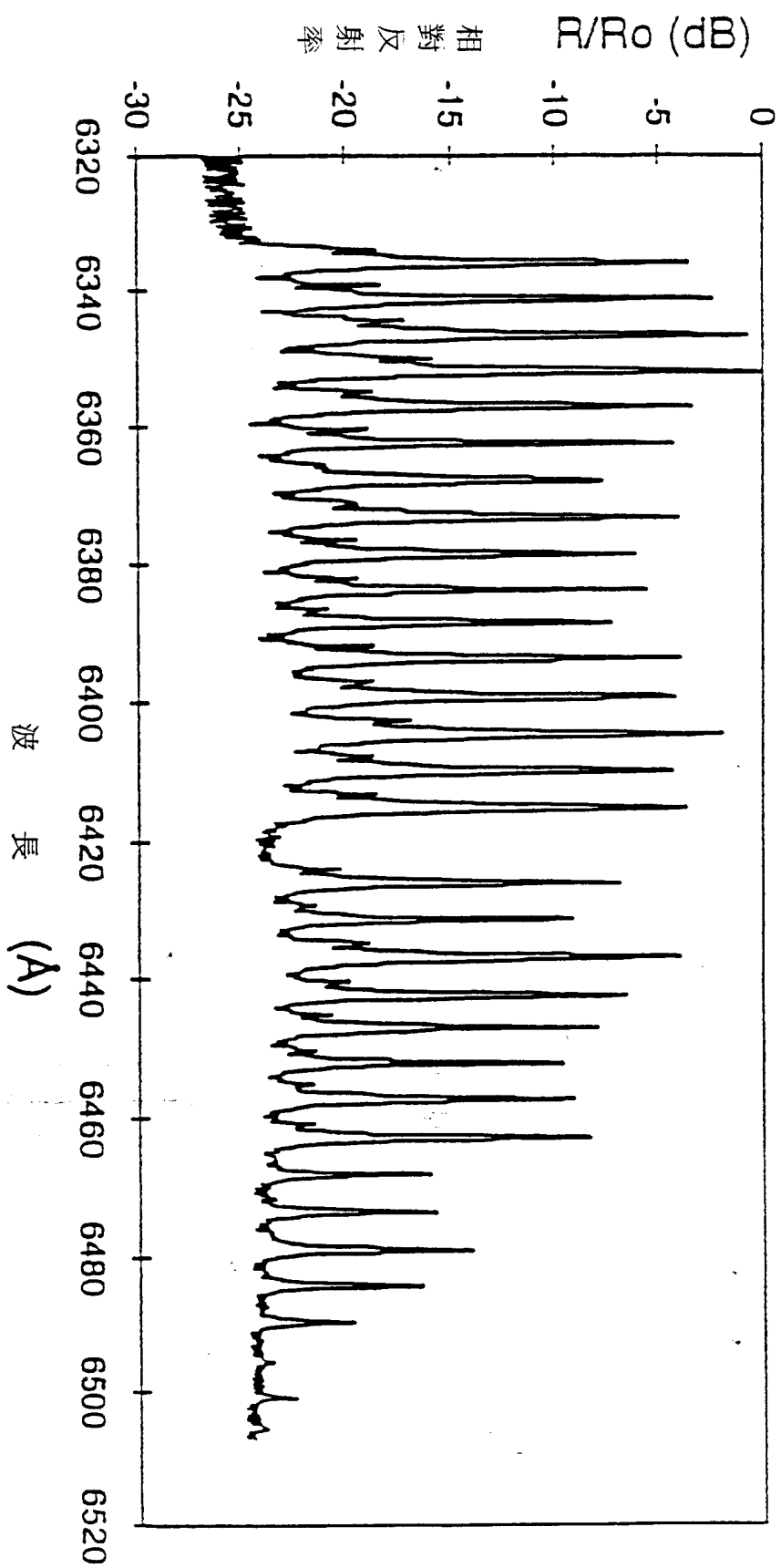
(C) 折射係數光柵

(a)

(b)

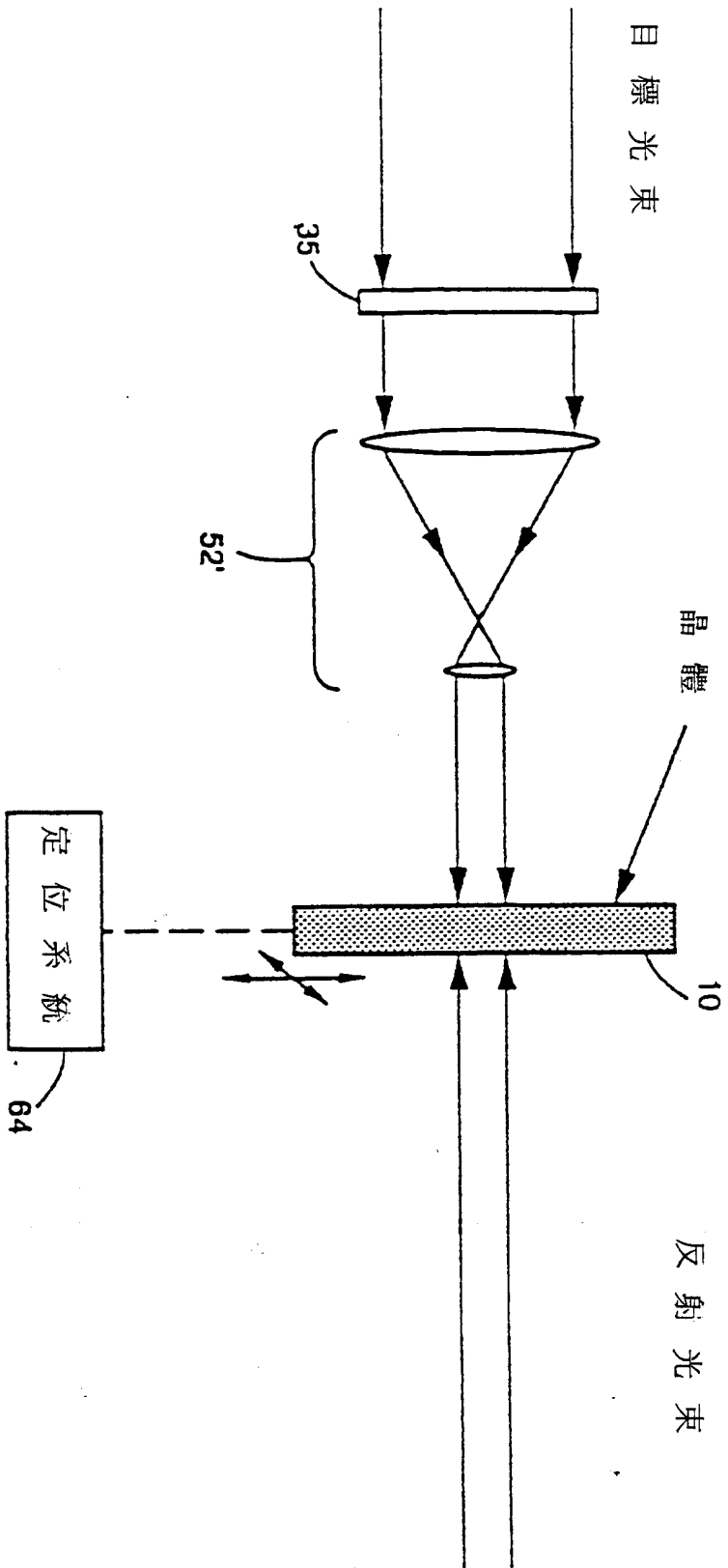
第 16 圖

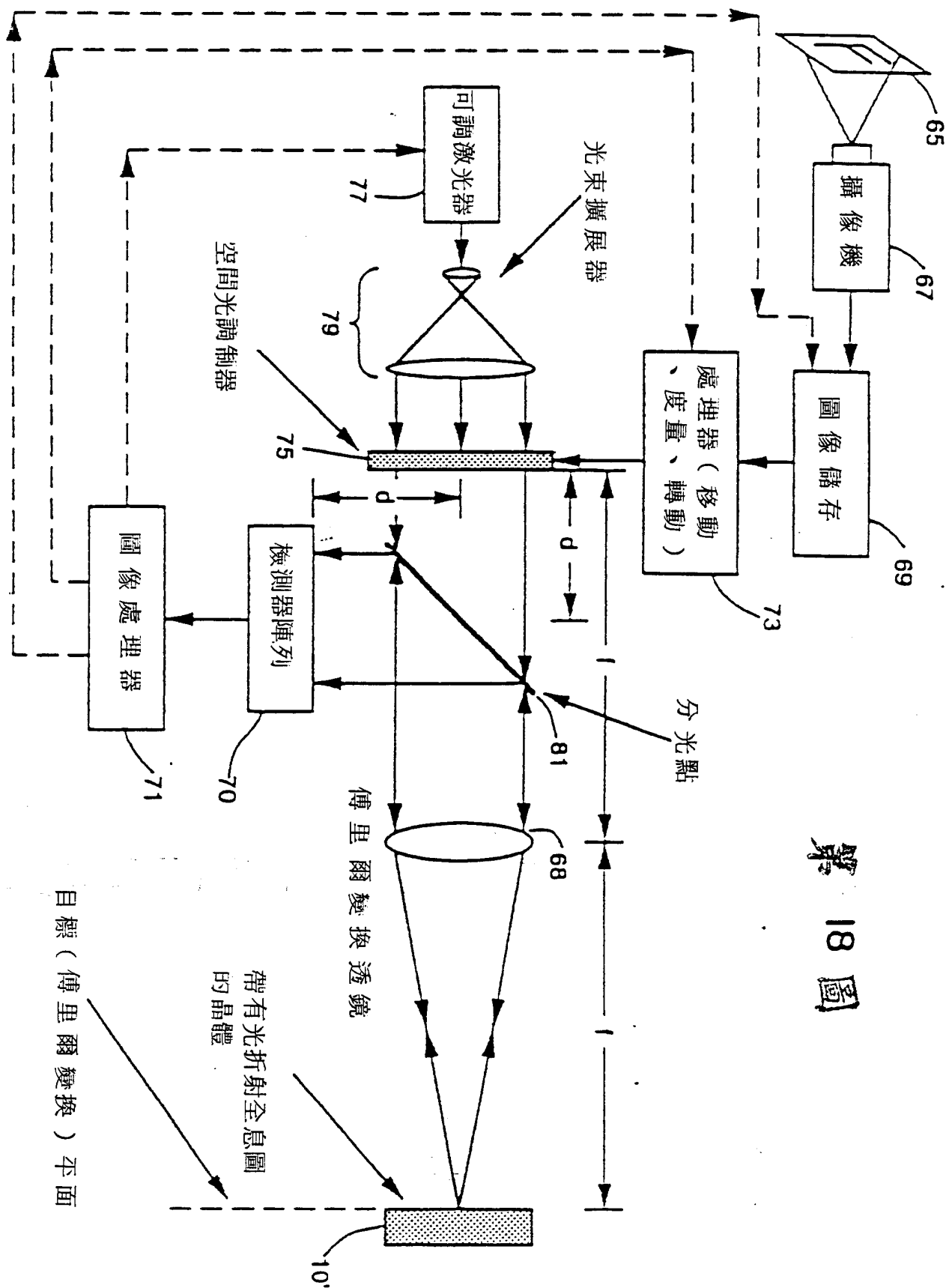
正交資料儲存，32 高解析度全息圖



205097

第 17 圖



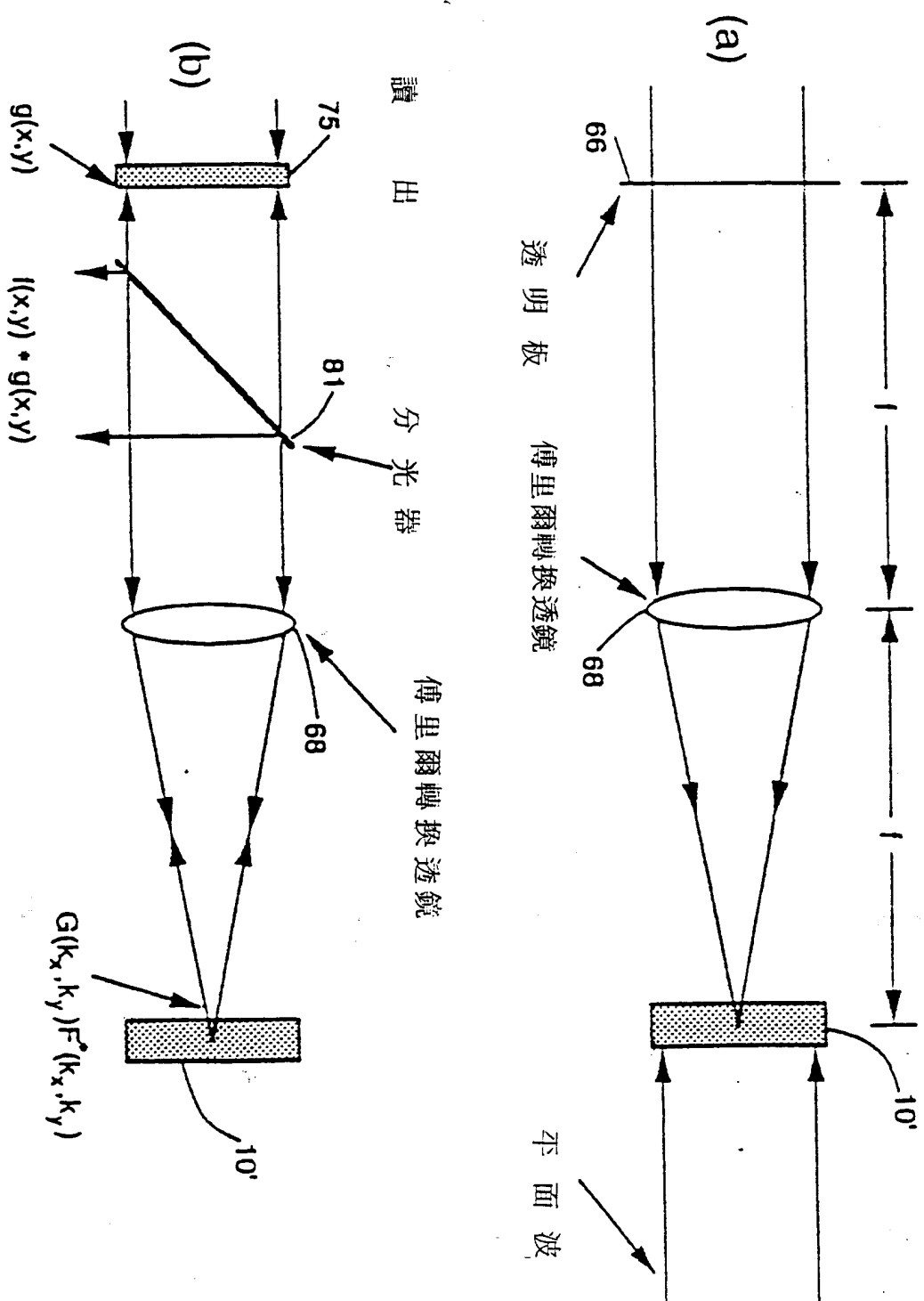


第 18 圖

目標光束

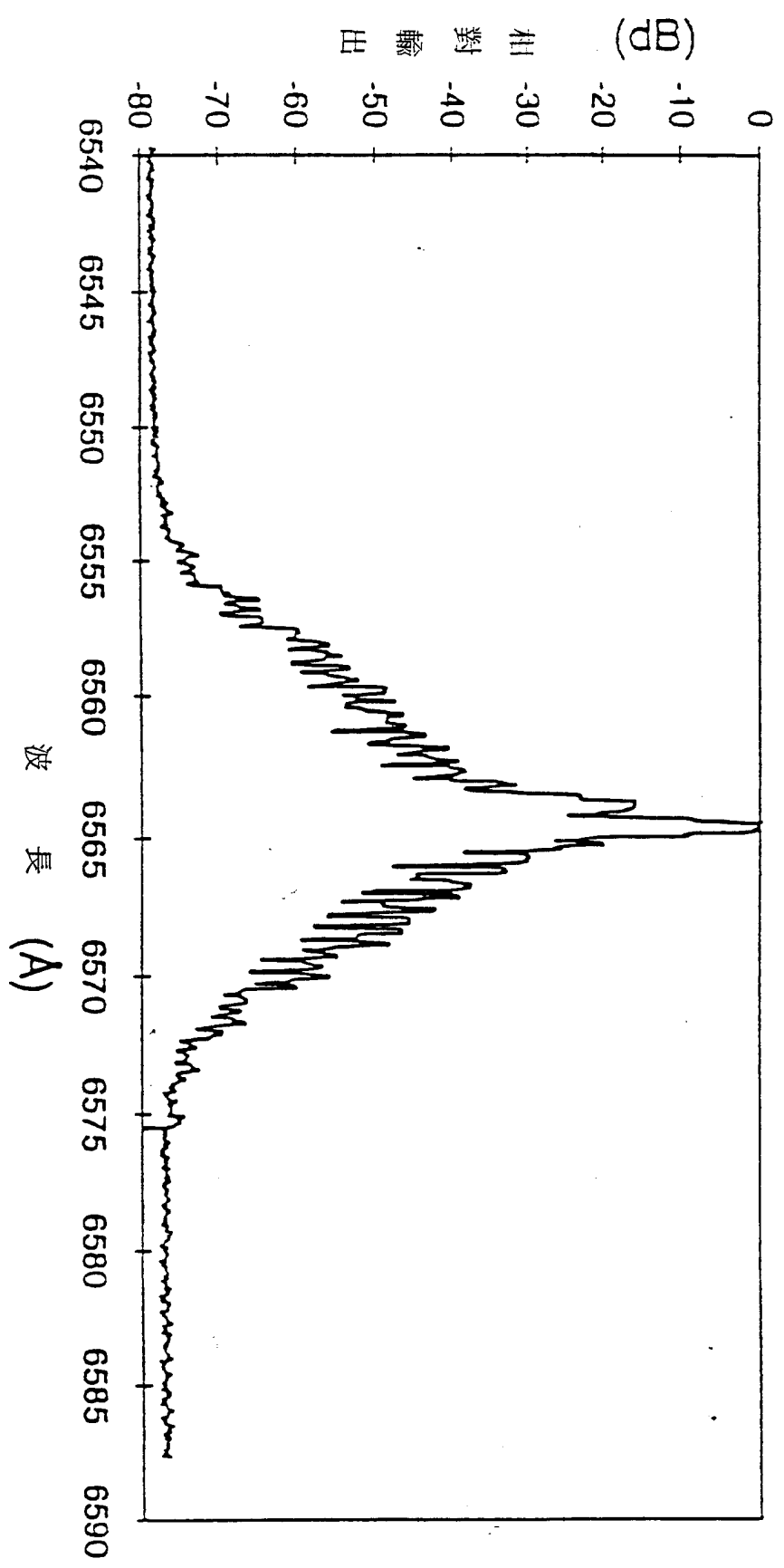
基準光束

圖 19



第 20 圖

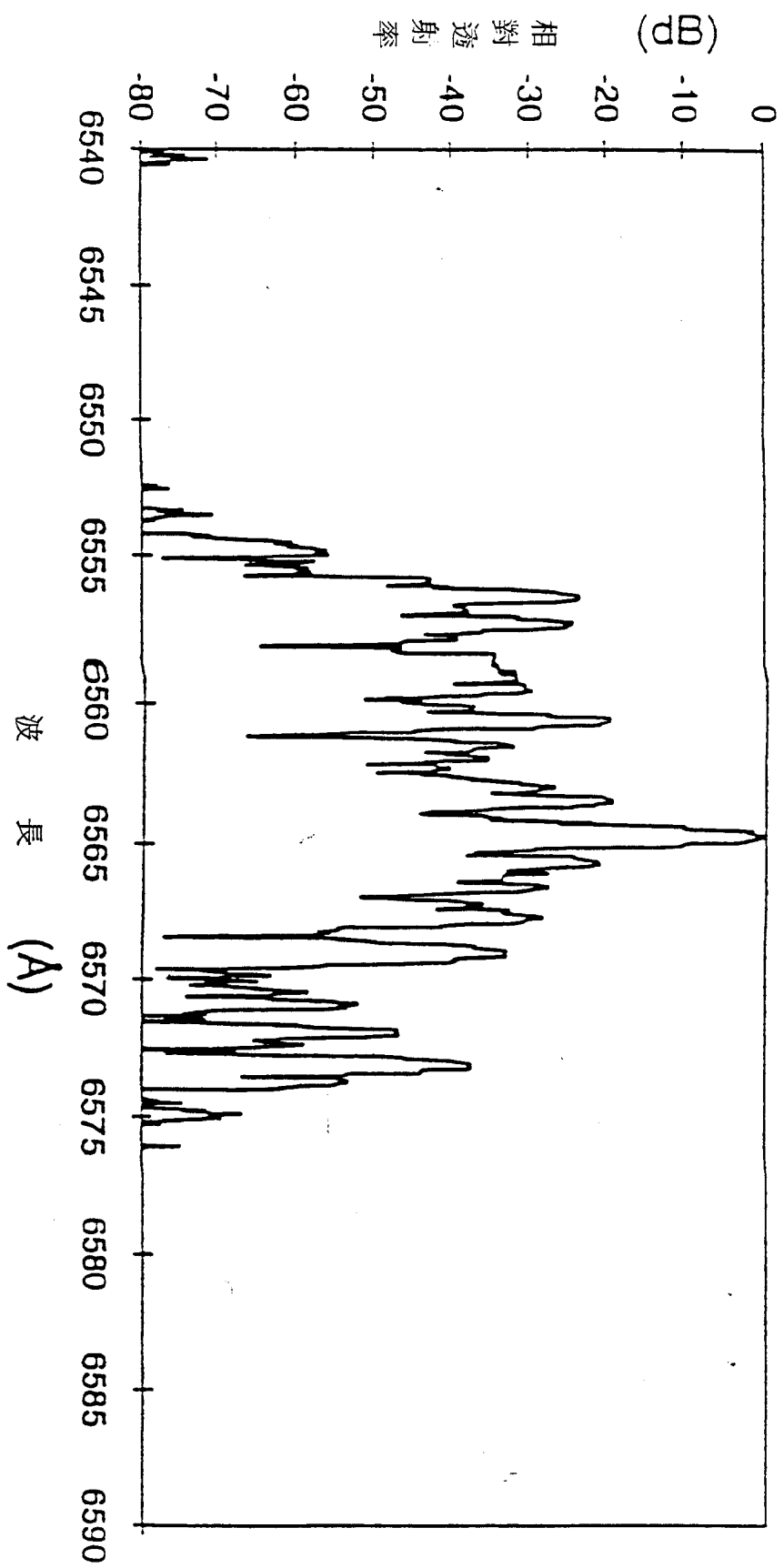
全 息 濾 光 鏡



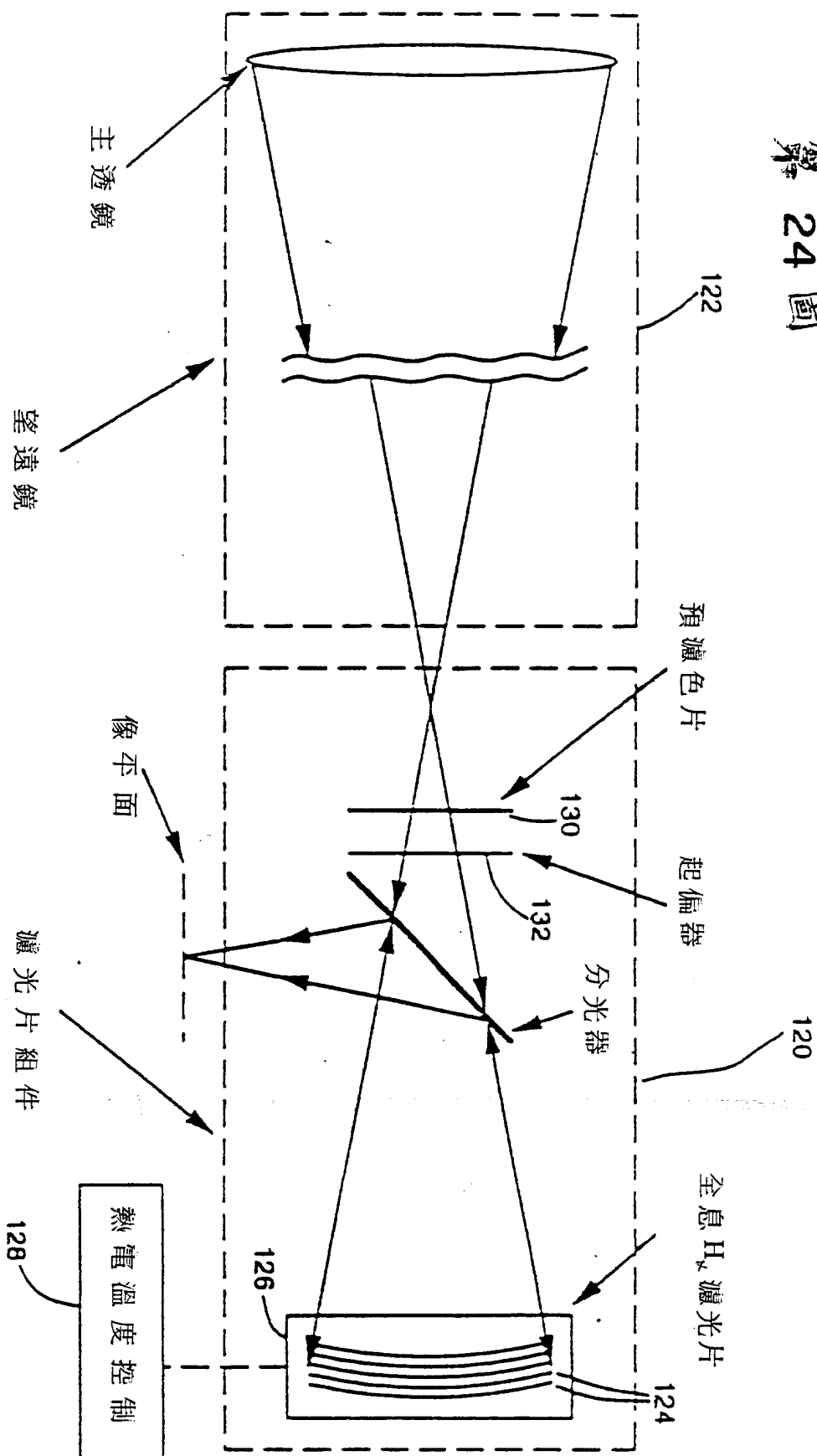
205097

第 21 圖

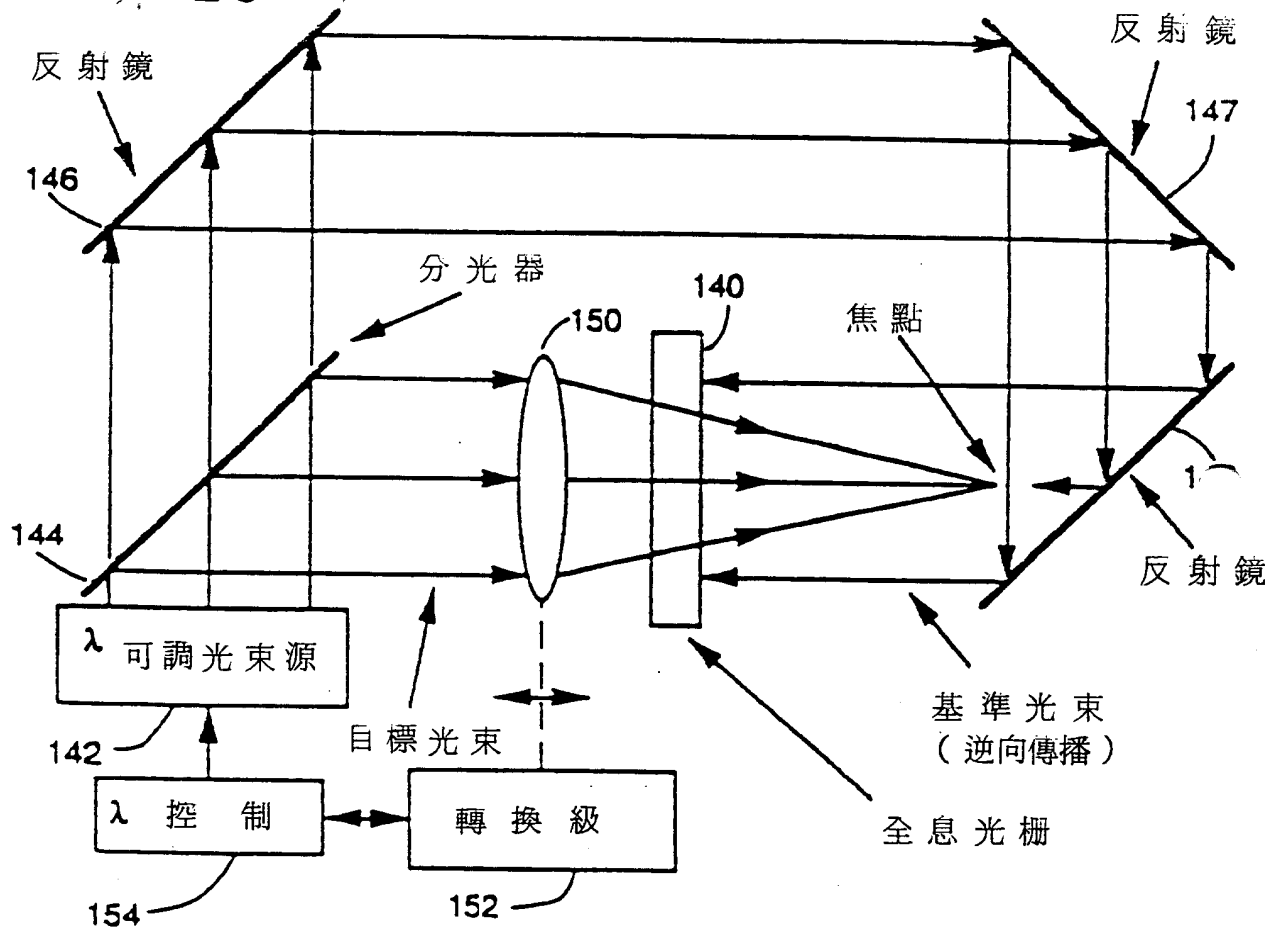
Lyot 濾光器



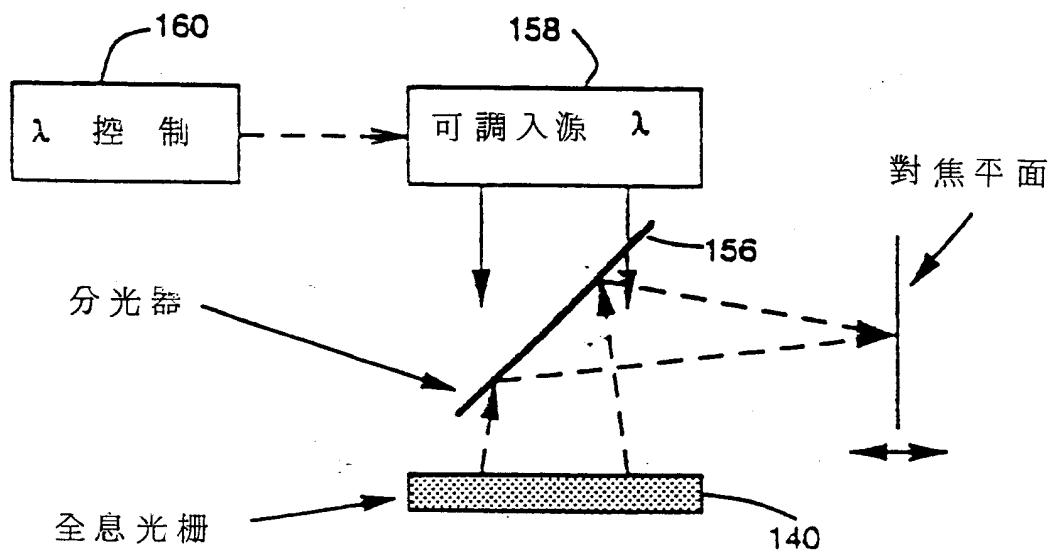
第 24 圖



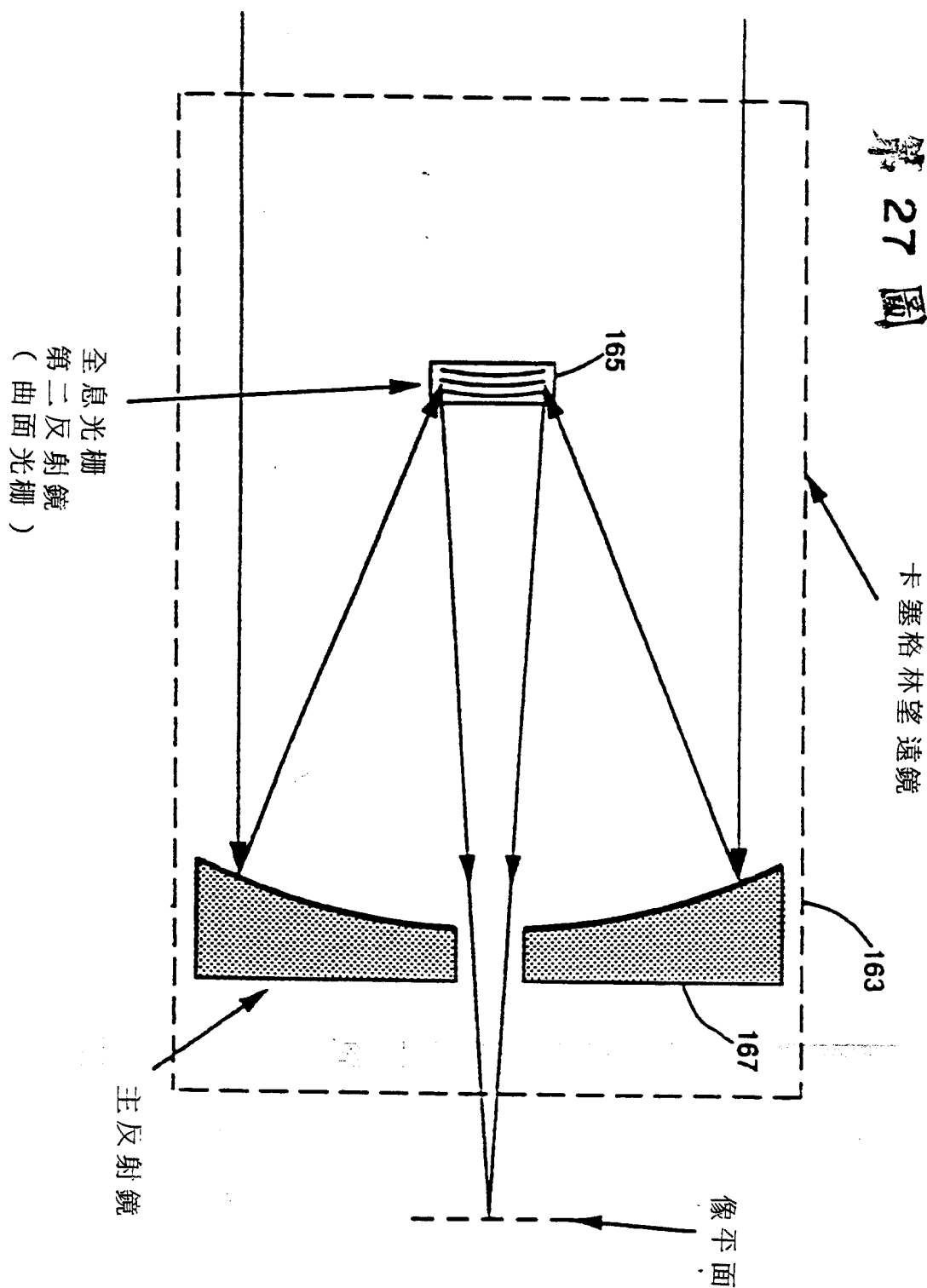
第 25 圖



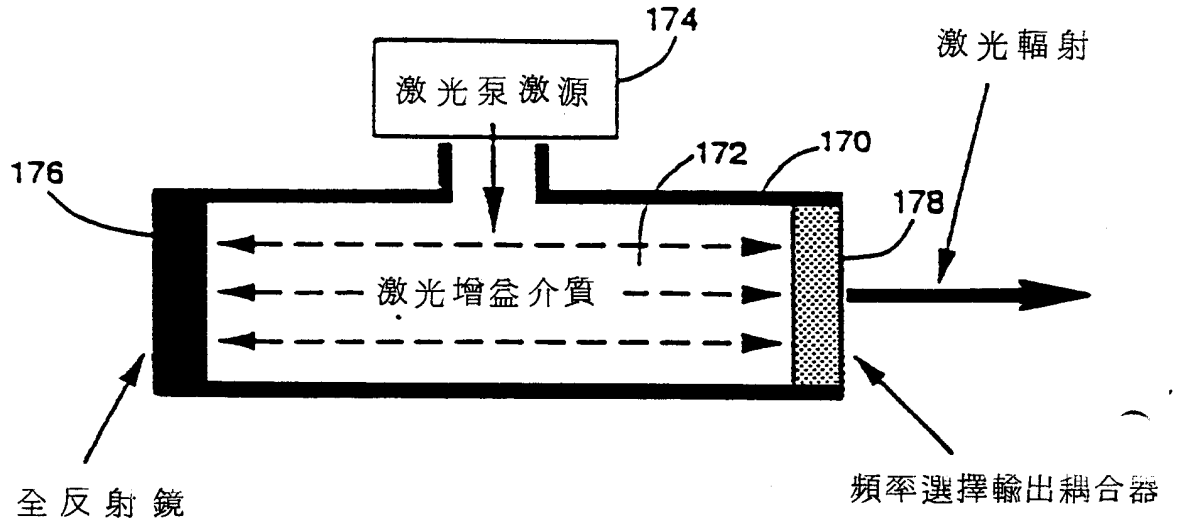
第 26 圖



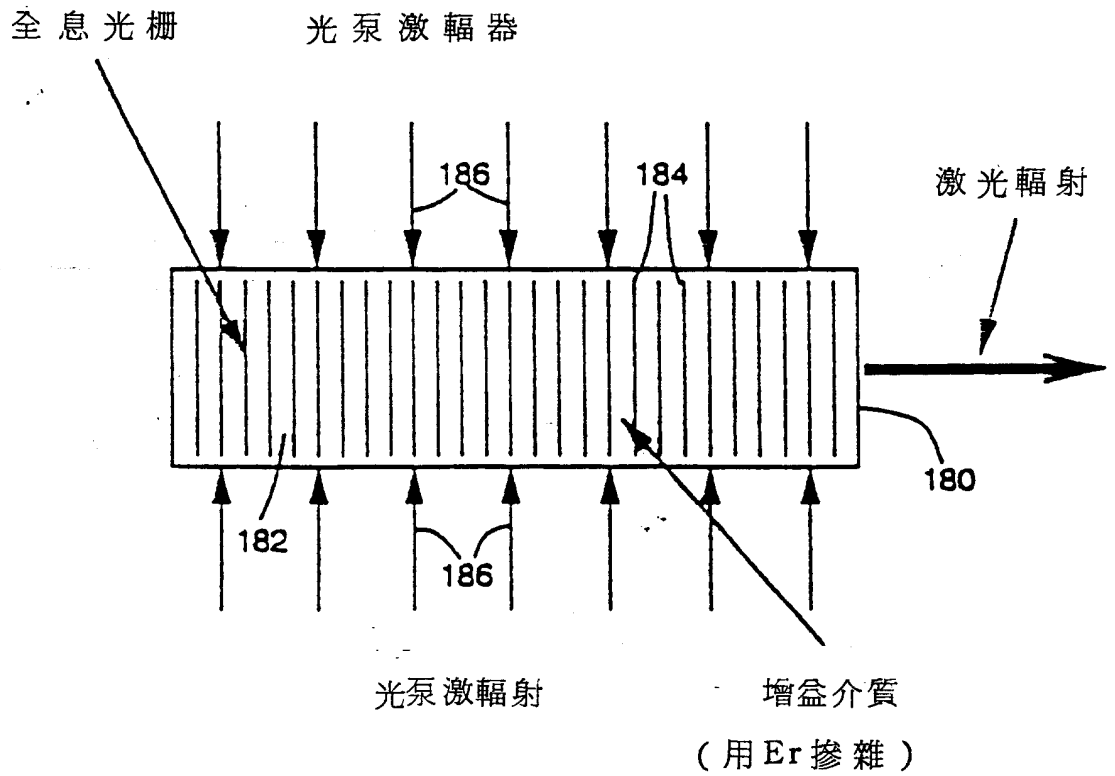
第 27 圖



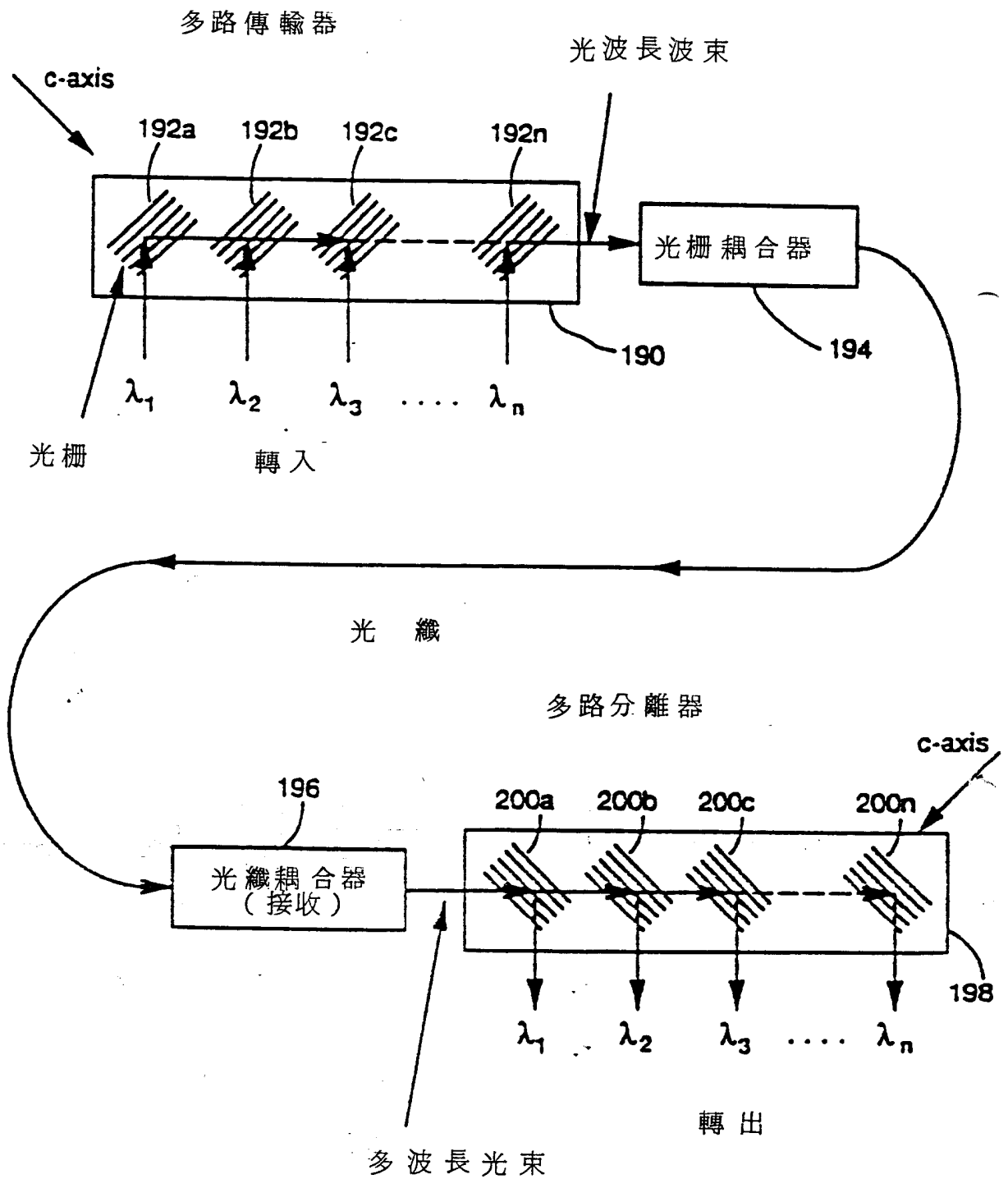
第 28 圖



第 29 圖



第 30 圖



第 31 圖

