

申請日期： 90.10.25	IPC分類
申請案號： 90126444	H01L27/108

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、 發明名稱	中 文	平面光波導放大器用之高功率及低溫製程鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜材料
	英 文	
二、 發明人 (共3人)	姓 名 (中文)	1. 陳三元 2. 丁初稷 3. 張鳴修
	姓 名 (英文)	1. 2. 3.
	國 籍 (中英文)	1. 中華民國 ROC 2. 中華民國 ROC 3. 中華民國 ROC
	住居所 (中 文)	1. 新竹市湳中街87巷14弄9號 2. 桃園縣平鎮市廣德街238巷24號7樓 3. 台北縣淡水鎮明安里中正路186號
	住居所 (英 文)	1. 2. 3.
三、 申請人 (共1人)	名稱或 姓 名 (中文)	1. 國立交通大學
	名稱或 姓 名 (英文)	1.
	國 籍 (中英文)	1. 中華民國 ROC
	住居所 (營業所) (中 文)	1. 新竹市大學路1001號 (本地址與前向貴局申請者不同)
	住居所 (營業所) (英 文)	1.
	代表人 (中文)	1. 張俊彥
	代表人 (英文)	1.



一、本案已向

國家(地區)申請專利

申請日期

案號

主張專利法第二十四條第一項優先權

無

二、☐主張專利法第二十五條之一第一項優先權：

申請案號：

無

日期：

三、主張本案係符合專利法第二十條第一項☐第一款但書或☐第二款但書規定之期間

日期：

四、☐有關微生物已寄存於國外：

寄存國家：

寄存機構：

寄存日期：

寄存號碼：

無

☐有關微生物已寄存於國內(本局所指定之寄存機構)：

寄存機構：

寄存日期：

寄存號碼：

無

☐熟習該項技術者易於獲得, 不須寄存。

四、中文發明摘要 (發明名稱：平面光波導放大器用之高功率及低溫製程鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜材料)

本案係為一種以氧化鈦材料來當作母材的鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜，其藉由鎳離子的共摻雜，將使得此薄膜所放射出的 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光的發光強度比鉕、鋁共摻雜氧化矽薄膜的螢光強度強約17倍，且此螢光頻譜的半高寬亦增寬約1.4倍，此外，同時此薄膜亦具有較低的製程溫度(比鉕、鎳共摻雜氧化矽之製程溫度低 $\sim 300^\circ\text{C}$)，故其可應用在積體光學中平面光波導放大器的製作上。

六、英文發明摘要 (發明名稱：)



五、發明說明 (1)

發明領域

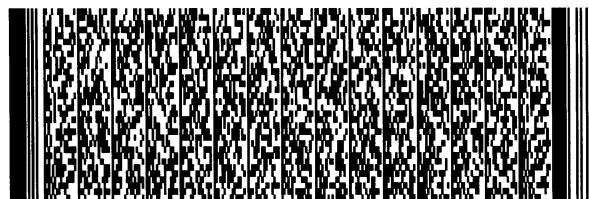
本案係指一種氧化鈦薄膜材料，尤指一種以鉕、鎢共摻雜氧化鈦薄膜材料。

發明背景

由於電腦網路通訊的發達，且網路資訊傳遞的負載量與日倍增，為了要使傳輸系統能承載更大的訊息容量，則使用光纖通訊系統將可滿足此方面的需求。

光纖通訊系統中最重要的組成單元就屬光源與導光媒體了。半導體雷射的發明，使得長效穩定型的光源得以實用化，而具有低傳送損耗的石英系光纖也早已開發完成。但是在光纖傳送的過程中是有一定的損耗，所以必須在中繼地點置一放大器以利長距離的傳輸，以往的放大器都是將光信號轉換成電器信號，再將此電氣信號放大後轉成光信號傳送出去，但因鉕摻雜光纖放大器(Erbium-doped fiber amplifiers; EDFA)的發明，所以光信號可直接以光形式放大後再傳送，如此一來解決了中繼站的問題。

經實驗証實，光在傳送的過程中若使用波長為 $1.53\ \mu\text{m}$ 的光來當做傳送的光源，則其具有較低的損耗與對人眼無害的好處。由於鉕離子受到波長為 $1.48\ \mu\text{m}$ 、 $0.98\ \mu\text{m}$ 或 $0.8\ \mu\text{m}$ 的雷射激發後，位於第一激發態的電子將會躍遷回到基態，並同時輻射出波長為 $\sim 1.54\ \mu\text{m}$ 的紅外線，此波段正是目前光纖通訊所使用的光源，如此一來光放大的夢想則得以實現。



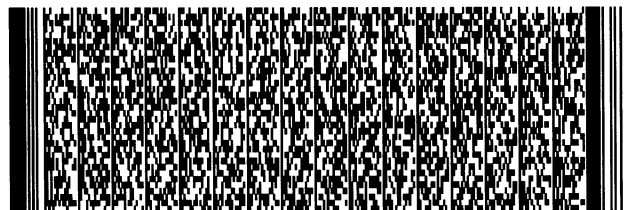
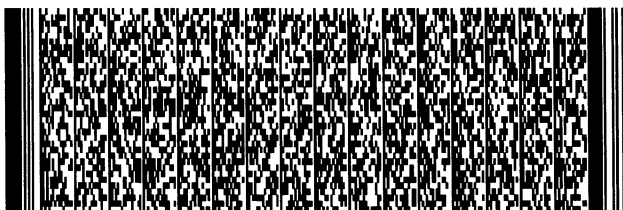
五、發明說明 (2)

近年來，隨著IC半導體製造技術的提升，微光機電系統正蓬勃的發展，而在積體光學元件中所使用的平面光波導放大器亦具有非常重要的應用性，由於積體光學元件的尺寸遠比EDFA小很多，故開發具有高效率螢光特性的鉕摻雜平面光波導放大器(Erbium-doped waveguide amplifiers; EDWA)則更可突顯出這方面研究的重要性。

目前有關鉕摻雜平面光波導放大器的相關文獻及專利報導很多，但其大多是以改變製程方法或是選擇不同的母材為研究重點，一般的母材大都是以氧化物玻璃為主（諸如pure silica、soda-lime silicate、phosphosilicate與aluminosilicate glass），這是因為此為目前實用性光纖的主要材料，但是以陶瓷材料（諸如 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Y_2O_3 與 LiNbO_4 ）或是非晶矽等為母材的研究正方興未艾。A.

Polman於1997年發表在Applied Physical Reviews，第82期第1-39頁的回顧報告中詳細指出，不同的母材將影響到鉕離子之螢光光譜的譜形與強度。總括來說，螢光光譜的特性是與鉕離子在母材中的溶解度（即分散性）或輻射/非輻射緩解效應有很密切的關係。

B. J. Ainslie於1990年發表在Optical Amplifier Communication IEE Proceeding，第137期第205-208頁中提出，鉕離子與鉕離子間的交互緩解作用(cross-relaxation)將使得在激發態之鉕離子的數量降低，而鉕離子間交互緩解作用的強度則又與鉕離子間的距離有關，如果鉕離子的成團效應(clustering effect)增加，則勢

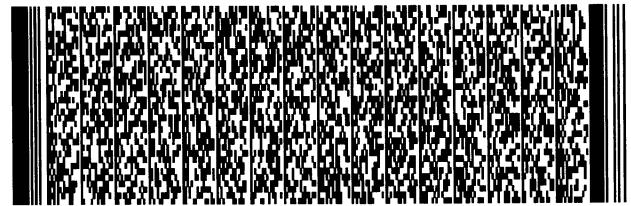
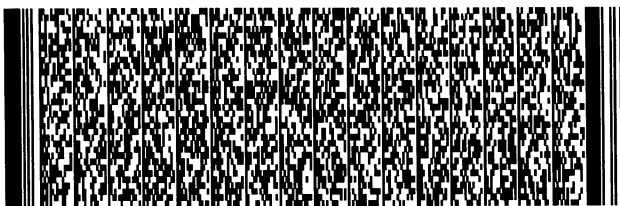


五、發明說明 (3)

必使得螢光效率降低。此外，Y. Yan於1995年發表在Journal of Non-crystal Solids，第181期第283-290頁中指出，母材中的氫氧基為一螢光淬熄中心(quenching center)，這是因其第二調波(2nd harmonic)的振動與鉕離子 $\sim 1.54\ \mu\text{m}$ 螢光是會相互共振(resonant)，故此效應亦會使螢光效率降低。P. Blixt於1991年發表在IEEE Photonics Technology Letters，第3期第996-998頁中則指出，鉕離子間的cross-relaxation effect會產生上轉換(up-conversion)的現象，如此亦會使得螢光效率降低。所以說，若要提升螢光效率，則需使鉕離子在母材中的分散度提高，減低母材中氫氧基的含量且減少上轉換發生的機率，而其中又以第一項的影響力最大。

A. J. Berry於1989年發表在Journal of Physics D，第22期第1419-頁，提出將鋁離子摻雜入氧化矽的結構中可使得鉕離子的分散度提高，此是因為鋁離子可當作結構形成劑(network former)與結構修飾劑(network modifier)以破壞氧化矽的四面體網狀結構，增加了非架橋氧原子(non-bridging oxygen)的數目，進而提高鉕離子的溶解度。

然而，另外一種提高螢光效率的方法就是更換母材的材料了。這是因為鉕離子在不同的母材中，其溶解度將會不同的關係，所以選擇一適當的母材將可提高鉕離子的溶解度，進而增加其螢光效率。故本發明擬選擇具有較高折射率及較低聲子能量的材料做為母材，其中又以具備優異



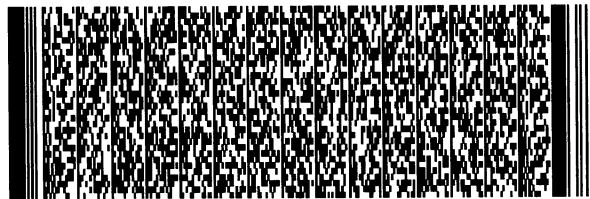
五、發明說明 (4)

光學特性的氧化鈦最具吸引力，因為氧化鈦具有高的折射率(銳鈦礦相：折射率為2.5，金紅石相：折射率為2.5)，這將可提高光學模態(optical modes)以增加傳輸效率，且使得光波導的bending radii減少($<100\ \mu\text{m}$)，如此一來光波導元件的尺寸將大幅縮小。此外氧化鈦亦具有與較低的聲子能量，故其可降低激發態的電子經由非輻射過程的損耗速率。

而關於以氧化鈦為母材的鉕摻雜平面光波導放大器的文獻報導並不多，目前主要僅由A. Bahtat et al. 於1994年發表在Optics Communications，第111期第55-60頁、1996年發表在Journal of Non-Crystalline Solids，第202期第16-22頁、於1997年發表在Optical Materials，第7期第173-179頁、1998年發表在Thin Solid Films，第323期第59-62頁，綜合其所發表的文獻可看出，若以氧化鈦為母材的鉕摻雜平面光波導放大器，其螢光特性並不佳，因此本發明乃考量將與鉕離子具有相同結構與離子半徑的鐳離子摻雜入氧化鈦母材中，進而提高鉕離子在氧化鈦母材中的溶解度，以開發可用於平面光波導放大器並具備高折射率及高螢光效率的鉕、鐳共摻雜氧化鈦薄膜材料之低溫製程。

發明簡述

本發明之主要目的在於揭示一種以氧化鈦材料來當作母材之鉕、鐳共摻雜氧化鈦薄膜，其藉由鐳離子的摻雜，



五、發明說明 (5)

將使得此薄膜所放射出的 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光的發光強度較現今被廣泛報導且具有良好螢光特性的鉕、鋁共摻雜氧化矽薄膜的螢光強度還強約17倍，且此螢光頻譜的半高寬亦增寬約1.4倍，此外，此薄膜若與鉕、鎵共摻雜氧化矽薄膜相比，其螢光強度也較強，而且此薄膜亦具有較低的製程溫度與較低的製程成本，故其可應用在積體光學中平面光波導放大器的製作上。

本案之

圖示簡單說明：

圖一：純氧化鈦薄膜與鉕、鎵共摻雜氧化鈦薄膜經 $700-1000^{\circ}\text{C}$ 熱處理後之X光繞射圖案。

圖二：鉕摻雜氧化鈦薄膜與鉕、鎵共摻雜氧化鈦薄膜經 700°C 熱處理後之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

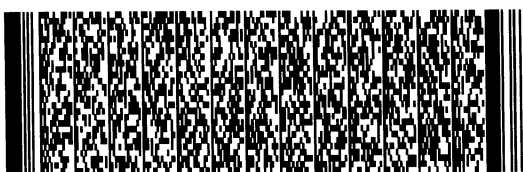
圖三：退火溫度對於PL強度的影響。

圖四：不同的鉕與鎵離子濃度對經 700°C 熱處理後的鉕、鎵共摻雜氧化鈦薄膜之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光強度的影響。

圖五：鉕、鎵共摻雜氧化鈦薄膜($700^{\circ}\text{C}/1\text{h}$)與最佳化的鉕、鋁共摻雜氧化矽薄膜($1000^{\circ}\text{C}/1\text{h}$)之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

圖六：鉕、鎵共摻雜氧化鈦薄膜經 $700-1000^{\circ}\text{C}$ 熱處理後之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

圖七：鉕、鎵共摻雜氧化鈦薄膜經 $800-1100^{\circ}\text{C}$ 熱處理後之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。



五、發明說明 (6)

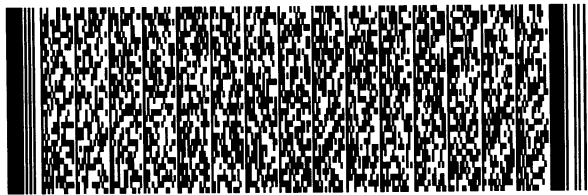
圖八：鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜(700°C/1h)與最佳化的鉕、鐿共摻雜氧化矽薄膜(1000°C/1h)之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

圖九：鐿摻雜量對於Er-Yb-Ti與Er-Yb-Si系統之螢光強度的比較。

實施例說明

本發明之主要目的在於揭示一種以氧化鈦材料來當作母材之鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜，其藉由鐿離子的摻雜，將使得此薄膜所放射出的 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光的發光強度較現今被廣泛報導且具有良好螢光特性的鉕、鋁共摻雜氧化矽薄膜的螢光強度還強約17倍，且此螢光頻譜的半高寬亦增寬約1.4倍，此外，此複合薄膜亦具有較低的製程溫度與較低的製程成本，故其可應用在積體光學中平面光波導放大器的製作上。

本發明，乃是先針對上述各種鉕摻雜平面光波導放大器的缺點，以鉕、鐿共摻雜氧化鈦系統為主，並配合溶凝膠-旋轉鍍膜法，將含有鐿離子先驅化合物如醋酸鉕(Erbium acetate)，及含有鉕離子先驅化合物如醋酸鐿(Ytterbium acetate)，分別添加於含有鈦之先驅化合物如異丙醇鈦(Titanium isopropoxide)，以合成一個溶有鐿-鉕-鈦之澄清溶液（其中 $\text{Er}^{3+}:\text{Yb}^{3+}:\text{Ti}^{4+}$ 之組成比例可以X:Y:1莫耳比來表示），然後再經適當鍍膜及熱處理（600~1000°C），來研究材料之間的組成與不同的熱處理條件及



五、發明說明 (7)

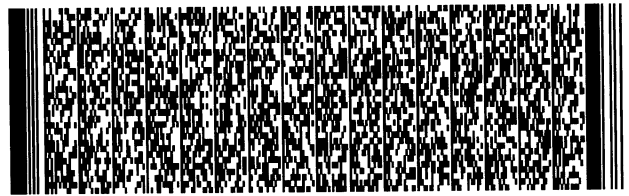
分析不同的鉕離子或釔離子摻雜量對 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光的強度與螢光頻譜半高寬的影響，以得到含有高濃度鉕、釔共摻雜氧化鈦的非晶質(amorphous)結構，其目的主要是藉著高濃度釔離子的添加，以期提高鉕離子在此釔添加之氧化鈦材料內的分散性，來製備可用於平面光波導放大器之鉕、釔共摻雜氧化鈦薄膜。

溶凝膠(Sol-gel)溶液的製備：

首先將異丙醇鈦(Titanium isopropoxide)溶於醋酸中，攪拌之，接著加入2-甲基乙醇(2-methoxyethanol)溶劑，再劇烈攪拌之。另外同時準備醋酸釔(Ytterbium acetate)溶液，將醋酸釔溶於比例為甲醇/乙二醇=3的混合溶劑中。然後再依 $\text{Er}^{3+}:\text{Yb}^{3+}:\text{Ti}^{4+}$ 之X:Y:1莫耳比，將固定比例的醋酸鉕(Erbium acetate)粉末與預先準備好的醋酸釔溶液一起加入異丙醇鈦溶液中，並至少攪拌十小時以使鈦、鉕與釔離子之間進行均勻的水解縮合反應。

薄膜的製備：

將溶凝膠溶液均勻濺鍍在熔融石英基板上，並以4000rpm/30sec的條件下進行旋轉鍍膜，每鍍完一層後，均先在 150°C 的加熱板上將溶劑蒸乾，再以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升溫速率升到 400°C 後，持溫30分鐘以除去薄膜中的殘存有機物，如此重覆上述的鍍膜/鍛燒步驟，待薄膜厚度達到 $0.5 \mu\text{m}$ 時，再以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升溫速率升到 $600\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，再

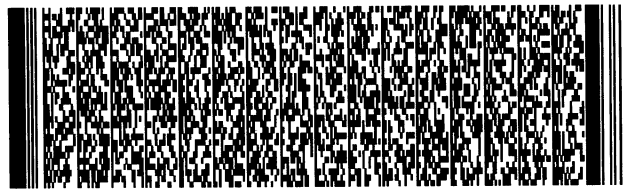
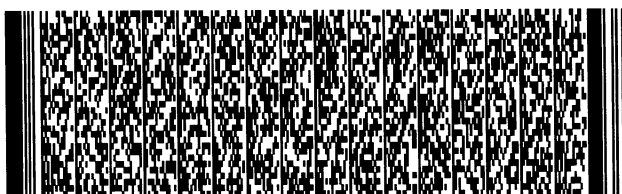


五、發明說明 (8)

持溫一小時以進行熱處理。

圖一是純氧化鈦薄膜與鉕、鎳共摻雜氧化鈦 (Er:Yb:Ti=5:30:100) 薄膜經700-1000°C熱處理後之X光繞射圖案。由第一圖可知，添加鉕或鎳離子將會破壞氧化鈦[銳鈦礦(anatase)相]的長程有序結構，使其結晶度明顯的降低，當鉕離子的摻雜量多到30mol%，且熱處理溫度為700°C時，整個的鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜的結構為非結晶相(amorphous)，此外，當熱處理溫度達到800°C時，此複合母材中將生成一明顯的焦綠石相($\text{Er}_x\text{Yb}_{2-x}\text{Ti}_2\text{O}_7$)，此時過剩(未參與焦綠石相的鍵結)的氧化鈦分子還是以無定形相的形態存在著，但當熱處理溫度達到900°C後，此過剩的氧化鈦便轉化成金紅石相(rutile)。

圖二顯示出如果將鉕離子的摻雜量固定為5mol%，且熱處理溫度為700°C時，則當添加鎳離子的濃度到達30mol%時，將使得波長為 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜的半高寬由13nm增寬到67nm，且強度也將增強9~10倍(表一)。而圖三顯示出退火溫度對於不同的鉕離子或鎳離子摻雜量之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光強度的影響，由圖中可知即使鉕離子的摻雜量(1或5 mol%)不同，在600°C~700°C熱處理溫度下，即可獲得相當高 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光的強度。此外，圖四則進一步顯示不同的鉕離子或鎳離子摻雜量之鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜在700°C/1h的螢光強度的比較。當若與將目前實用化的鉕、鋁共摻雜氧化矽薄膜(1000°C/1h)相比較，由圖五可看出鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜螢光強度比鉕、鋁共摻雜氧



五、發明說明 (9)

化矽薄膜，還高出17倍左右，且半高寬亦增寬約1.4倍，故鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜的螢光強度，將比未摻雜鎳離子的鉕摻雜氧化鈦薄膜或鉕、鋁共摻雜氧化矽薄膜還來得強，且螢光頻譜之半高寬還來得寬。圖六則顯示出不同的熱處理溫度將明顯地影響 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光的強度與頻譜，在 700°C 以下(焦綠石相未生成之前)，螢光頻譜的強度將隨溫度上升而增加，但頻譜並未有明顯地變化，但在 800°C 以上時(焦綠石相已生成)，螢光頻譜的強度變小，且頻譜呈現出許多分裂的小波峰。

同時為更進一步驗證比較鉕、鎳共摻雜在不同母材下螢光頻譜的強度，針對鉕、鎳共摻雜氧化矽薄膜的螢光強度也加以探討。圖七則是鉕、鎳共摻雜氧化矽薄膜在不同退火溫度下的螢光光譜圖。圖八則進一步比較鉕、鎳共摻雜氧化鈦與鉕、鎳共摻雜氧化矽薄膜在最佳退火溫度下的螢光光譜圖，可看出鉕、鎳共摻雜氧化鈦不管在螢光強度(約1.3倍)或半高寬(約1.4倍)都比鉕、鎳共摻雜氧化矽薄膜來得佳，而圖九則進一步顯示不同鎳添加量對於這兩個系統之螢光強度的比較，此亦看出鉕、鎳共摻雜氧化鈦不僅比鉕、鎳共摻雜氧化矽薄膜有較佳的螢光特性而且具有較低的製程溫度(約低 300°C)。

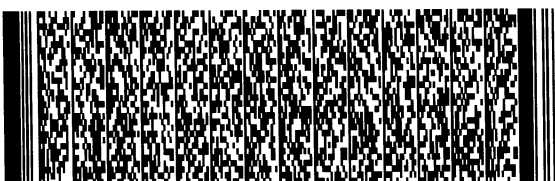
根據本發明研究結果顯示，在鉕、鎳共摻雜氧化鈦薄膜系統中，鉕離子的摻雜量為5 mol%且鈦離子的摻雜量為30 mol%時(熱處理溫度為 700°C)，此平面光波導放大器將具有最佳之螢光特性，其 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光的強度將比未摻雜



五、發明說明 (10)

鎂離子的鉕摻雜氧化鈦薄膜(鉕離子的摻雜量亦為5 mol%時)還強約9倍,且此螢光頻譜的半高寬亦增寬約2倍,倘若與實用化的鉕、鋁共摻雜氧化矽平面光波導放大器的螢光特性相比較的話,則其螢光強度將高出17倍左右,且半高寬亦增寬約1.4倍。即使與鉕、鎂共摻雜氧化矽薄膜相比,鉕、鎂共摻雜氧化鈦薄膜的螢光頻譜特性仍較佳。此外,鉕、鎂共摻雜氧化鈦薄膜的結構為無定形相,這將可減少光在薄膜行走中所受到的散射損失,而熱處理溫度僅為700°C,較鉕、鋁共摻雜氧化矽或鉕、鎂共摻雜氧化矽之薄膜製程溫度(1000°C)還低許多,故可使平面光波導放大器的製程溫度大為降低。

基於以上的結果顯示綜上所述,本發明具備原創性、新穎性及進步性。雖然本發明以一些較佳實施例揭露如上,然其並非用以限定本發明僅侷限於溶凝膠-旋轉鍍膜法的使用,任何熟習此技術者,在不脫離本發明之精神和範圍內,當可作為些許之更動與潤飾,因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定為準。



圖式簡單說明

圖一：鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜經700-1000°C熱處理後之X光繞射圖案。

圖二：鉕摻雜氧化鈦薄膜與鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜經700°C熱處理後之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

圖三：退火溫度對於PL強度的影響。

圖四：不同的鉕與鐿離子濃度對經700°C熱處理後的鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光強度的影響。

圖五：鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜(700°C/1h)與最佳化的鉕、鋁共摻雜氧化矽薄膜(1000°C/1h)之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

圖六：鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜經700-1000°C熱處理後之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

圖七：鉕、鐿共摻雜氧化矽薄膜經800-1100°C熱處理後之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

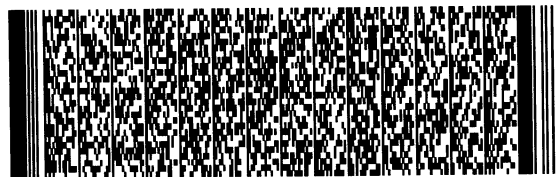
圖八：鉕、鐿共摻雜氧化鈦薄膜(700°C/1h)與最佳化的鉕、鐿共摻雜氧化矽薄膜(1000°C/1h)之 $\sim 1.54 \mu\text{m}$ 螢光頻譜。

圖九：鐿摻雜量對於Er-Yb-Ti與Er-Yb-Si系統之螢光強度的比較。



六、申請專利範圍

1. 一種鉺、鐿共摻雜氧化鈦薄膜材料，用於一平面光波導放大器之製作，其組成包括：(A)以1莫耳氧化鈦(TiO_2)為母材，並添加相對於該氧化鈦0.1~10%之(B)含有鉺離子(Er^{3+})先驅化合物，與1~50%之(C)含有鐿離子(Yb^{3+})先驅化合物，進而以液相溶液法將上述鉺離子先驅化合物及鐿離子先驅化合物，分別添加於可形成氧化鈦之鈦先驅化合物，以合成一個溶有鐿-鉺-鈦之組成溶液，再經鍍膜及熱處理控制，以得到含有高濃度鉺離子之非晶質(amorphous)結構。
2. 如申請專利範圍第1項之鉺、鐿共摻雜氧化鈦薄膜材料，其中該鉺離子(Er^{3+})先驅化合物相對於氧化鈦之添加量為3~8mol%。
3. 如申請專利範圍第1項之鉺、鐿共摻雜氧化鈦薄膜材料，其中該鐿離子(Yb^{3+})先驅化合物相對於氧化鈦之添加量為1~50mol%。
4. 如申請專利範圍第1項之鉺、鐿共摻雜氧化鈦薄膜材料，其中所使用的鉺離子先驅物(precursor)係選自於醋酸鉺(Erbium acetate)、碳酸鉺(Erbium carbonate)、氯化鉺(Erbium chloride)、草酸鉺(Erbium oxalate)、硝酸鉺(Erbium nitrate)或異丙醇鉺(Erbium isopropoxide)所組成之群組其中之一。
5. 如申請專利範圍第1項之鉺、鐿共摻雜氧化鈦薄膜材料，其中所使用的鐿離子先驅物(precursor)係選自於醋酸鐿(Ytterbium acetate)、氯化鐿(Ytterbium



六、申請專利範圍

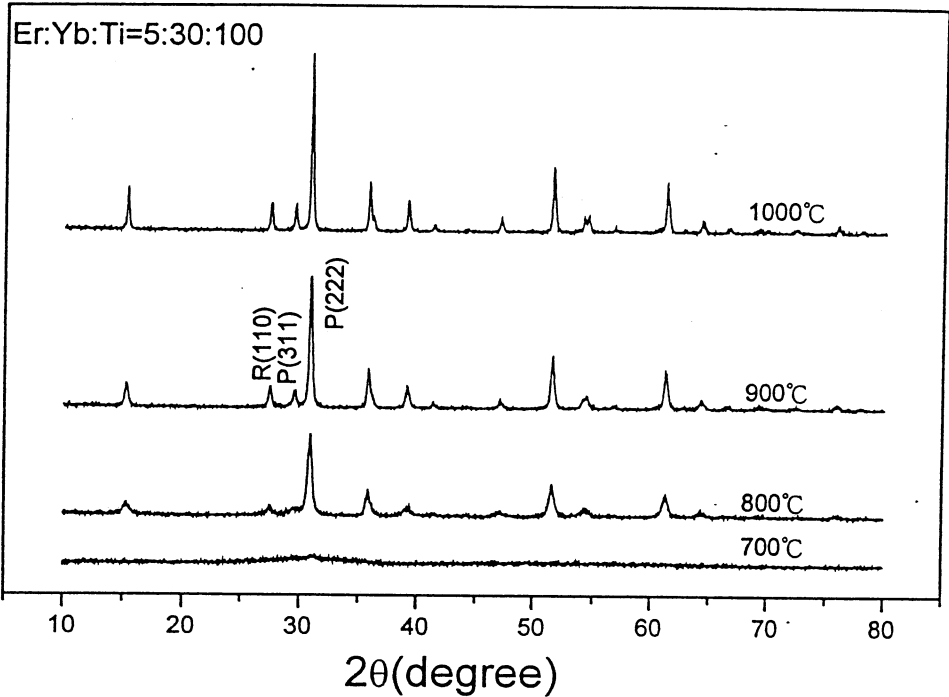
chloride)、硝酸鎳(Ytterbium nitrate)與草酸鎳(Ytterbium oxalate)所組成之群組其中之一。

6. 如申請專利範圍第1項之鈺、鎳共摻雜氧化鈦薄膜材料，其中所使用的鈦離子先驅物(precursor)係選自於異丙醇鈦(Titanium isopropoxide)、乙醇鈦(Titanium ethoxide)、氯化鈦(Titanium chloride)與正丁醇鈦(Titanium butoxide)所組成之群組其中之一。



圖式

強度
Intensity(a.u)



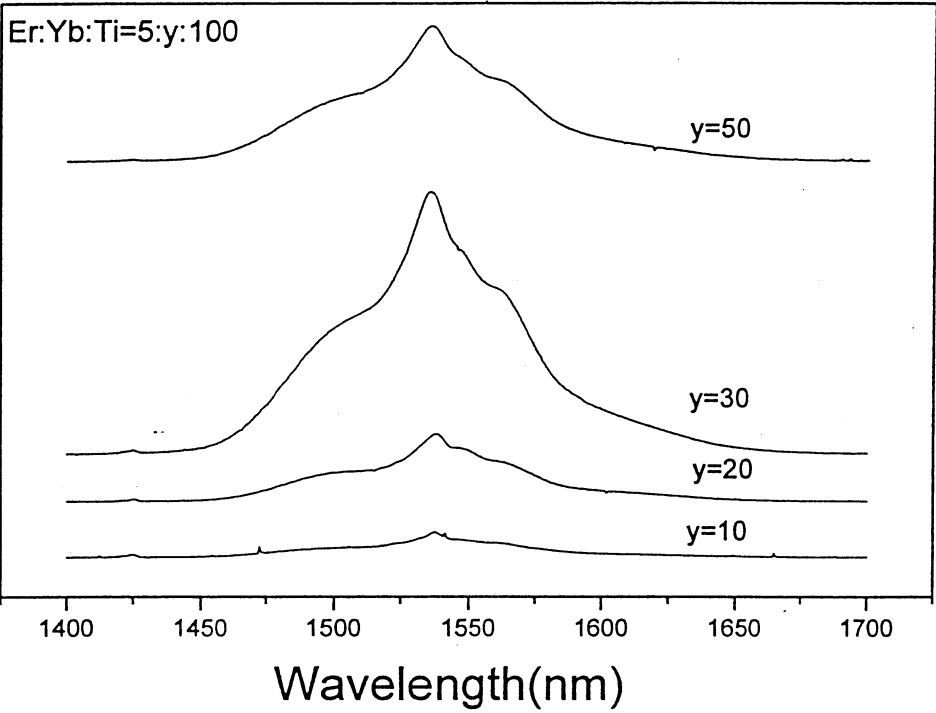
繞射角

圖 一

圖式

強 度

Intensity(a.u)



波 長

圖 二

圖式

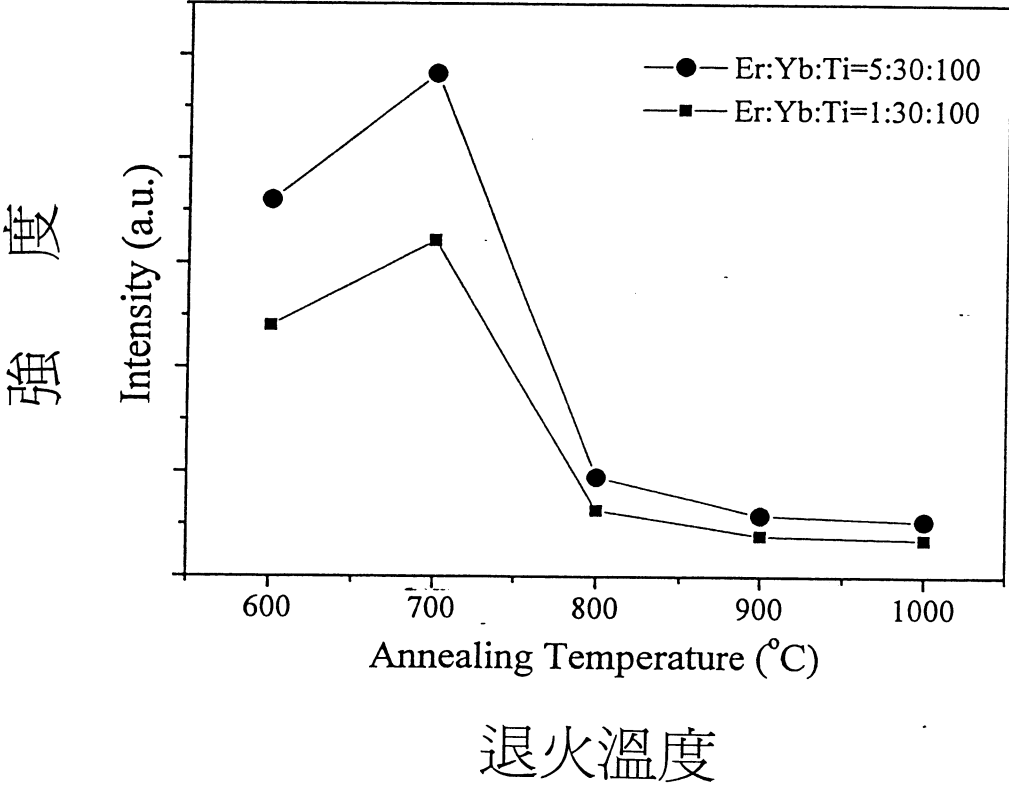


圖 三

圖式

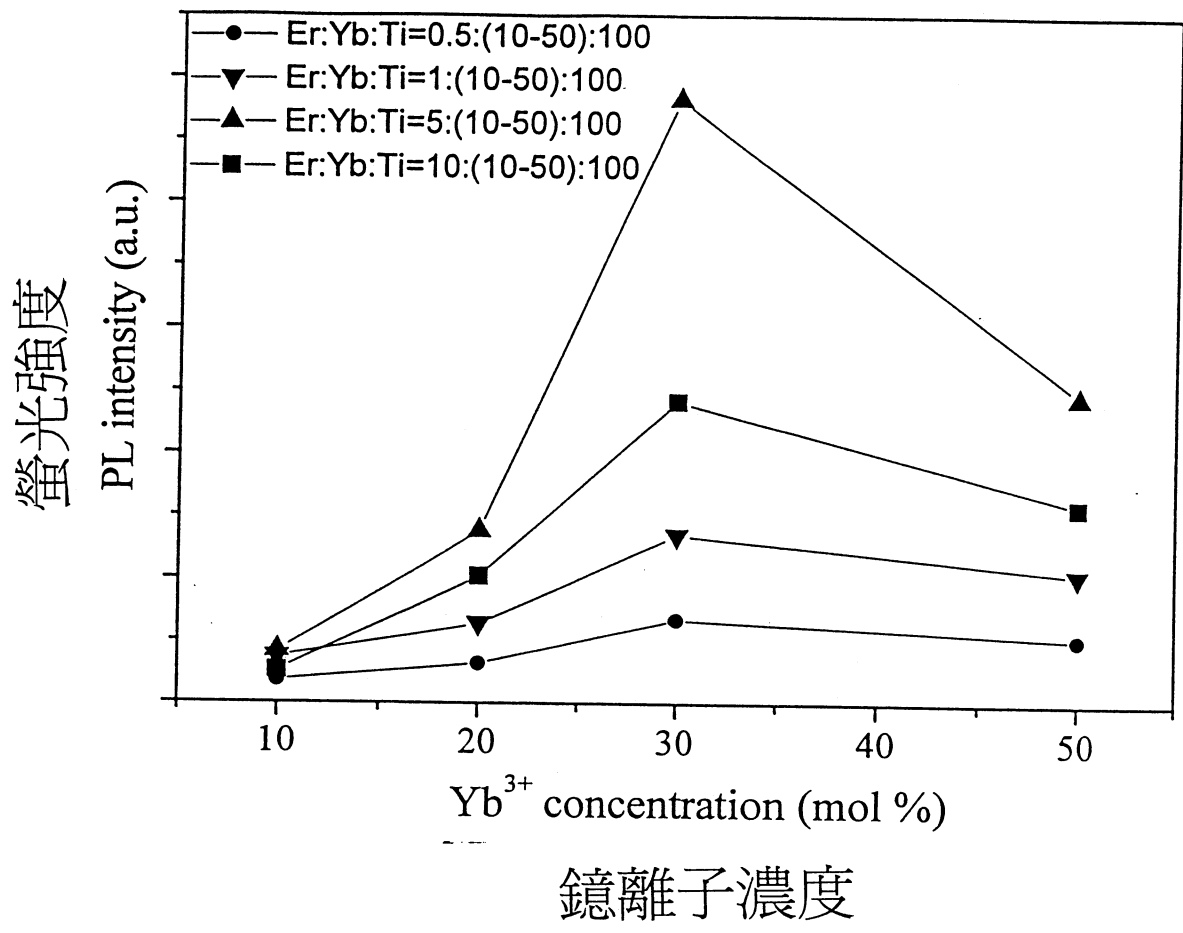


圖 四

圖式

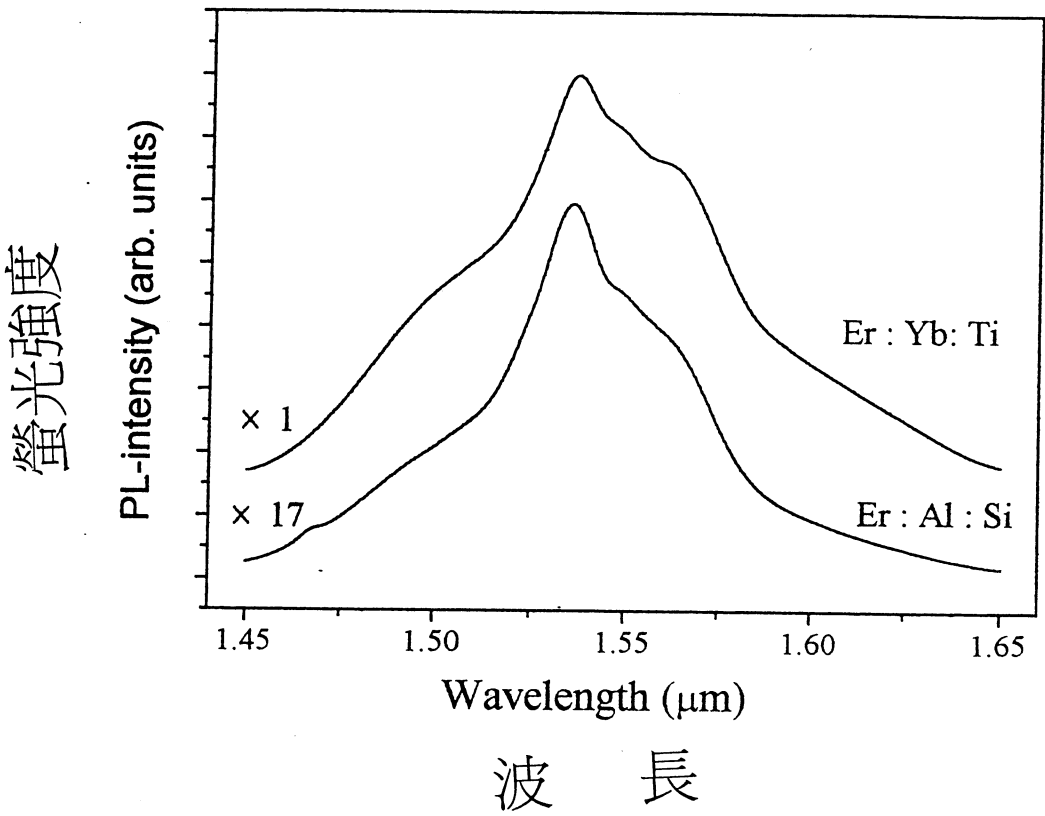


圖 五

圖式

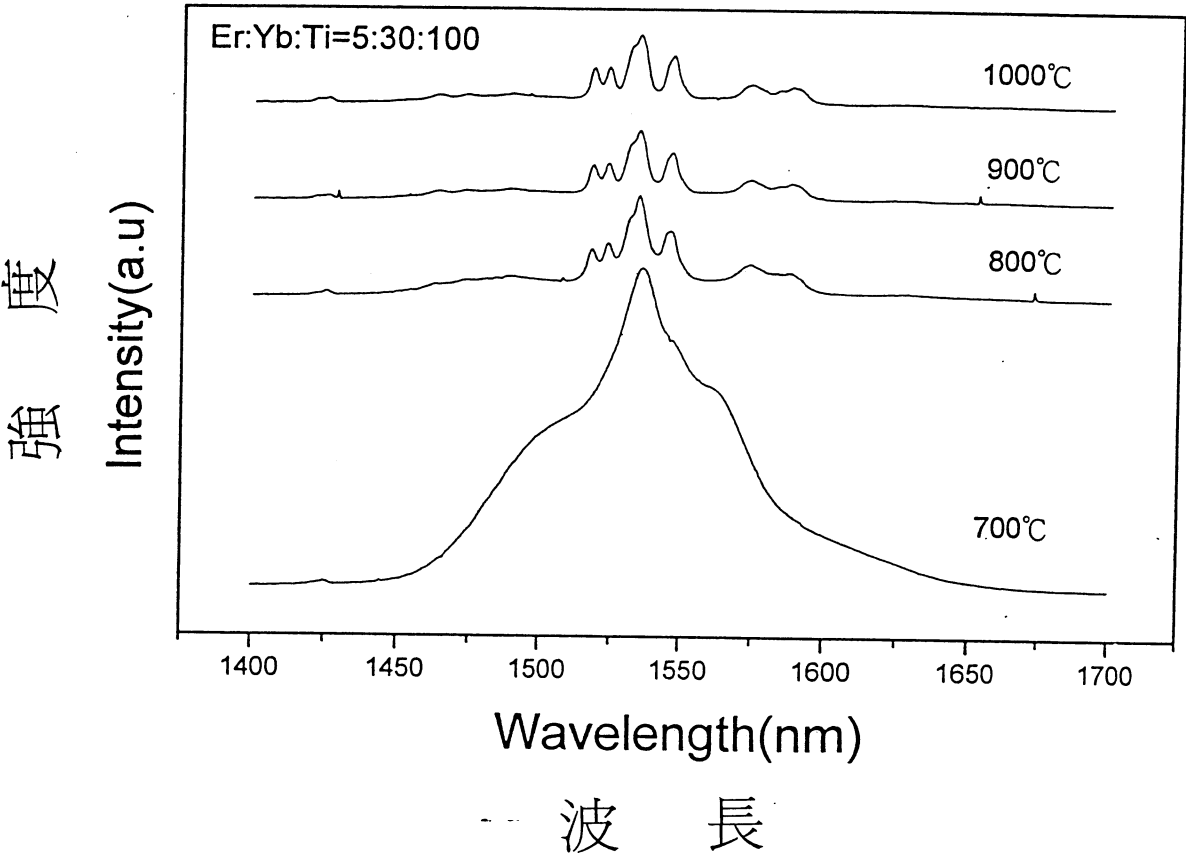
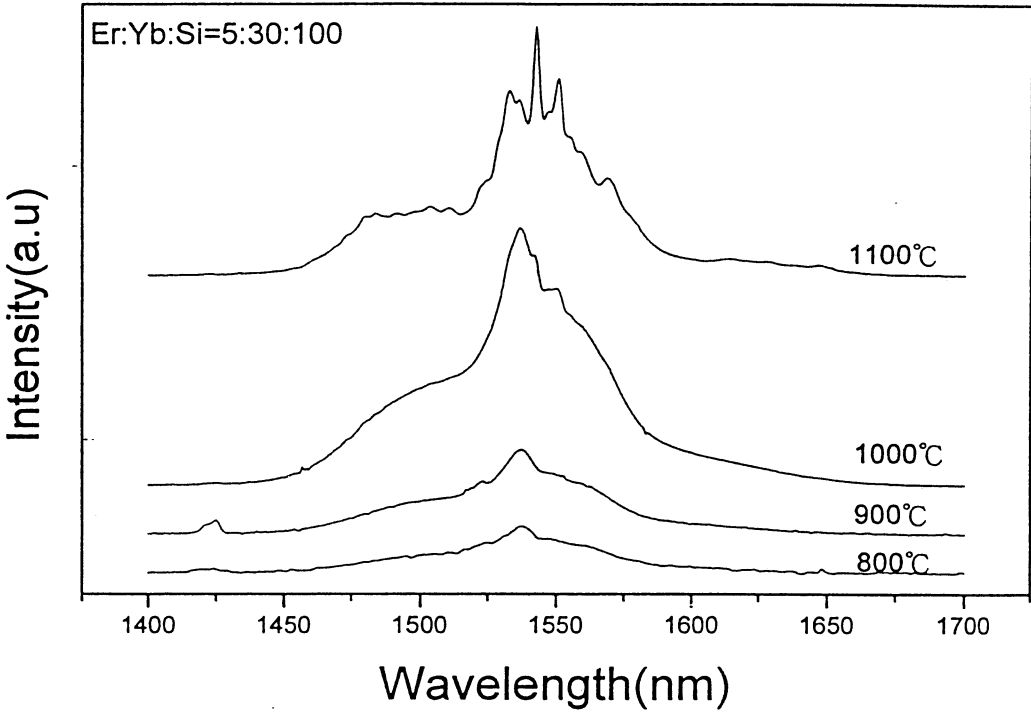


圖 六

圖式

強 度



波 長

圖 七

圖式

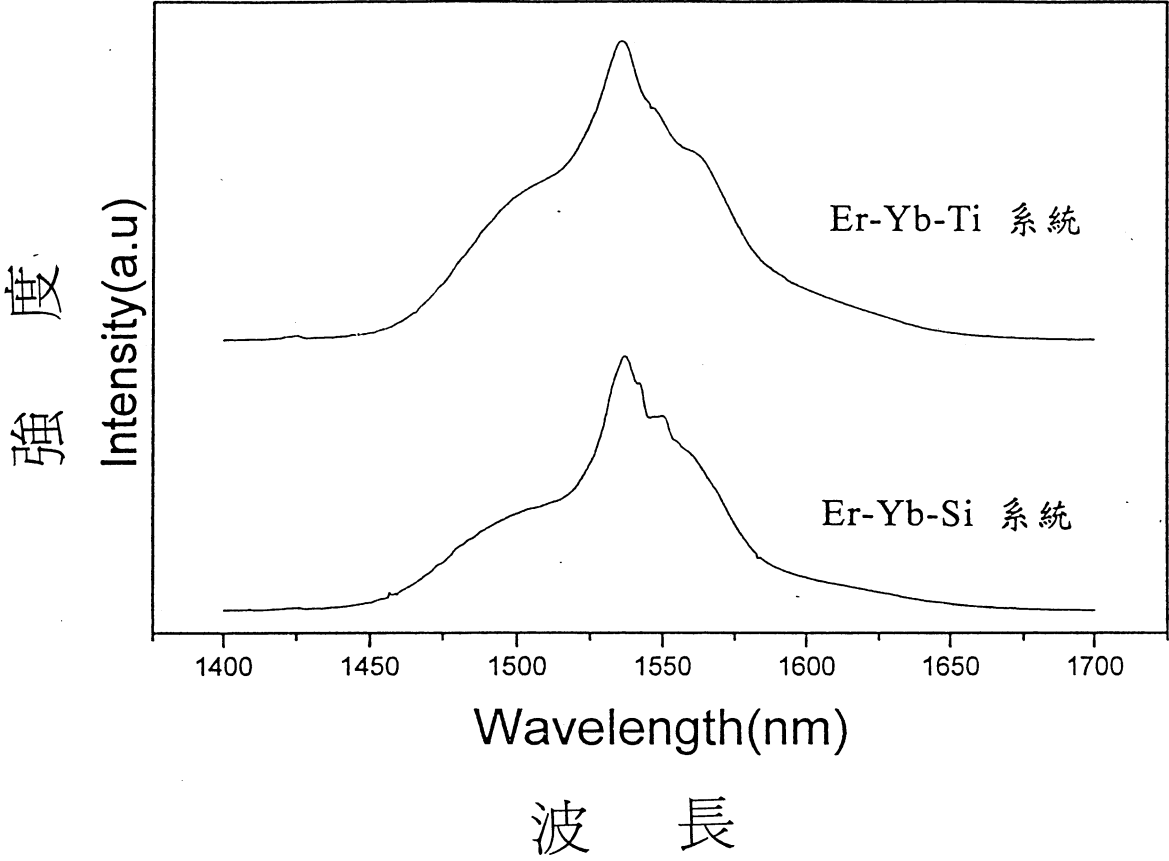


圖 八

圖式

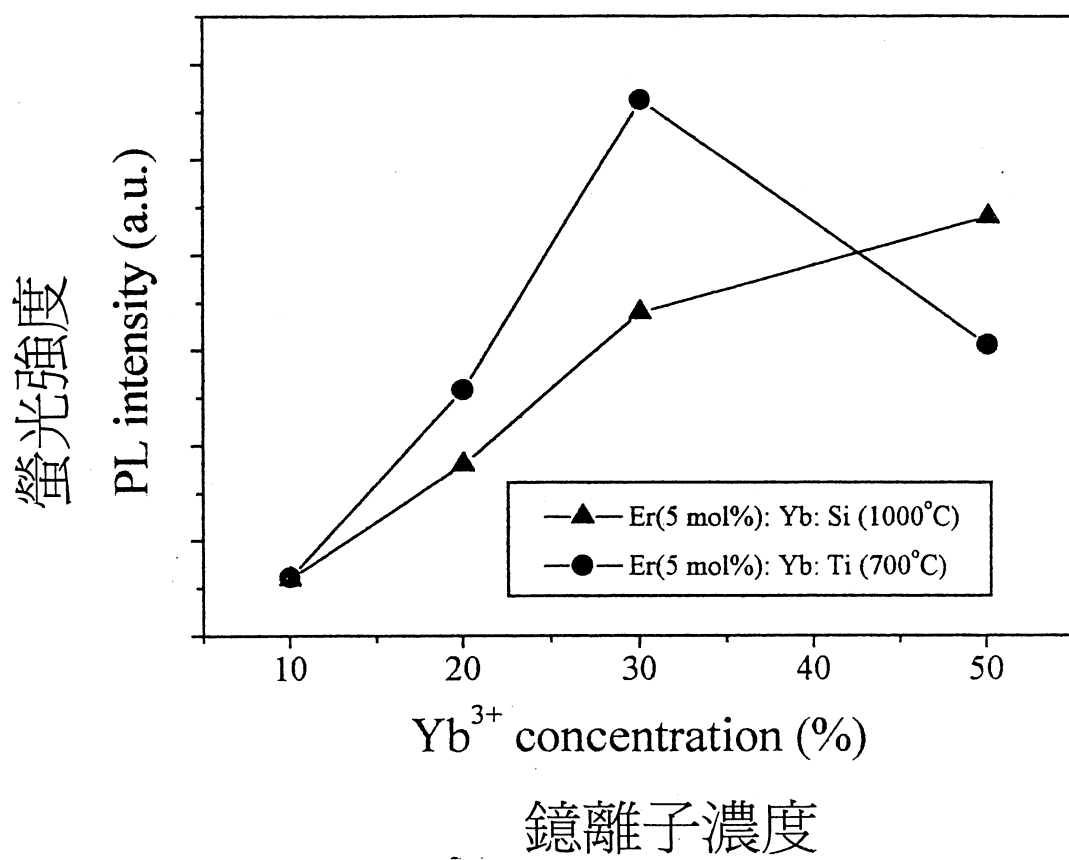


圖 九