

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：97128051

※ 申請日期：97.07.24

※IPC 分類：

G09K 11/86, (2006.01)

H01L 33/00, (2006.01)

H01L 33/00 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

白光螢光材料及其發光裝置/ White-emitting phosphors and lighting apparatus thereof

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學/National Chiao Tung University

代表人：(中文/英文) 吳重雨/ Wu, Chung-Yu

住居所或營業所地址：(中文/英文)

新竹市大學路 1001 號/ No.1001, Dasyue Rd., East District, Hsinchu City 300, Taiwan (R.O.C.)

國 籍：(中文/英文) 中華民國 R.O.C.

三、發明人：(共 2 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 陳登銘/ Teng-Ming Chen

2. 張峻魁/ Chun-Kuei Chang

國 籍：(中文/英文)

1. 中華民國/R.O.C.

2. 中華民國/R.O.C.

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項第一款或第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

一種螢光材料，其化學通式如下： $(M_{1-m-n}Ce_mEu_n)_3Al_2O_5X_2$ ；其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；其中 $0 < m < 1$ 、 $0 < n < 1$ 。

六、英文發明摘要：

A phosphor has the general formula $(M_{1-m-n}Ce_mEu_n)_3Al_2O_5X_2$, wherein M is at least one of the group consisting of Ca, Sr and Ba; X is at least one of the group consisting of Cl and Br; and $0 < m < 1$, $0 < n < 1$.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

無

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：



九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種螢光材料，特別是可供應用於白光發光裝置的螢光材料

【先前技術】

半導體發光裝置包括了發光二極體(light emitting diodes, LEDs) 以及雷射二極體(laser diodes)。利用半導體發光裝置提供紫外光(ultraviolet)或近紫外光(near ultraviolet)，搭配不同的螢光材料可以供製作各式光源所使用。

白光發光二極體是 LED 產業中最被看好的新興產品，可以應用在取代日光燈、平面顯示器的背光源，以及具有體積小、低熱量、低耗電、使用壽命長等優點。所謂的白光是多種色光混合而成的光，人眼可見的白光形式至少要有兩種光混合，例如：藍光與黃光的組合，或是綠光、藍光與紅光的組合。

目前商品化的白光發光裝置多使用藍光 LED 轉換黃光螢光粉 $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ (YAG:Ce)來產生白光。此商品化之黃光螢光粉係以固態燒結合成法於 $1400^{\circ}C$ 至 $1600^{\circ}C$ 高溫反應得之。以波長 $467nm$ 之藍光 LED 激發此黃光螢光粉，可獲得發射波長為 $550nm$ 之黃光，其 CIE 色度座標為(0.48, 0,50)。

此種搭配藍光 LED 使用的黃光螢光粉的合成條件嚴苛，其製備需要在較高溫度進行固態燒結，並且發光光譜缺乏藍光部分的貢獻，應用在白光發光裝置有演色性較差的缺點。

【發明內容】

為解決上述問題，本發明提供一種白光螢光材料，其化學通式如下： $(M_{1-m-n}Ce_m Eu_n)_3Al_2O_5X_2$ ；其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；且 $0 < m < 1、0$

$<n < 1$ 。

本發明亦提供一種白光螢光材料，其化學通式如下： $(M_{1-n}Eu_n)_3Al_2O_5X_2$ ；其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；且 $0 < n < 1$ 。

本發明接著提供一種發光裝置，包括一半導體光源以及一種白光螢光材料，此種白光螢光材料的化學通式為 $(M_{1-m-n}Ce_mEu_n)_3Al_2O_5X_2$ ；其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；且 $0 < m < 1$ 、 $0 < n < 1$ 。

本發明再接著提供一種發光裝置，包括一半導體光源以及一種白光螢光材料，此種白光螢光材料的化學通式為 $(M_{1-n}Eu_n)_3Al_2O_5X_2$ ；其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；且 $0 < n < 1$ 。

因此，本發明之主要目的係提供一系列白光螢光材料，具有新穎的組成成分。

本發明之另一目的係提供一系列白光螢光材料，用於發光裝置，可提供寬波段的輻射源。

本發明之再一目的係提供一系列白光螢光材料，可經由調整成分改變色調。

本發明之又一目的係提供一系列白光螢光材料，利用中低溫進行製備。

本發明之又一目的係提供一種發光裝置，藉由半導體光源與螢光材料的配合，可應用於發光裝置。

【實施方式】

以下係藉由具體實施例進一步詳述本發明，熟習此項技藝之人士，可由本說明書所揭示之內容輕易了解本發明之特點及功效。本發明亦可藉由其他不同實施例加以實行或應用，本說明書中各項細節，亦可基於不同觀點在不悖離本發明之精神下，進行各種修飾與變更。

本發明之第一較佳實施例之白光螢光材料係利用固態法於中低溫（約 800°C~約 1000°C）所製備，以 $(\text{Sr}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ （ $0 < m < 1$ 、 $0 < n < 1$ ）為例，其製備方法包括下列步驟：依化學計量秤取氧化鋇(SrO)、氯化鋇(SrCl₂)、氧化鋁(Al₂O₃)、氧化鈰(CeO₂)及三氧化二鎔(Eu₂O₃)，研磨並均勻混合以上原料後，放入坩堝中再置入高溫爐，於氫氣及氬氣混合氣氛下，以約 800°C~約 1100°C 燒結四至八小時後，即可得到本發明揭露之白光螢光材料： $(\text{Sr}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ ，其中 $0 < m < 1$ 、 $0 < n < 1$ 。

以上製程中的氯化鋇(SrCl₂)可以改用溴化鋇(SrBr₂)、氯化鈣(CaCl₂)、溴化鈣(CaBr₂)、溴化鋇(BaBr₂)或氯化鋇(BaCl₂)等各種不同的金屬鹽類；氧化鋇(SrO)可以改用氧化鈣(CaO)或氧化鋇(BaO)等各種不同的金屬鹽類；選用不同的金屬鹽類可以得到本發明揭露之各種螢光材料。

本發明所提供之 $(\text{Sr}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ （ $0 < m < 1$ 且 $0 < n < 1$ ）白光螢光材料可為紫外光、近紫外光或藍光所激發，受激發後具有兩個發光波段，分別位於藍光與黃橘光範圍。 $(\text{Sr}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ （ $0 < m < 1$ 且 $0 < n < 1$ ）螢光材料可為波長約 300 nm 至約 370 nm 輻射源所激發，且該螢光材料受激發後之兩個發光波段混合光色度座標值之 x 值約為 0.25-0.50， y 值約為 0.25-0.40。

第 1 圖與第 2 圖所示為本發明第一較佳實施例所合成之 $(\text{Sr}_{0.987}\text{Ce}_{0.01}\text{Eu}_{0.003})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料之激發光譜與光致發光光譜。圖中顯示 $(\text{Sr}_{0.987}\text{Ce}_{0.01}\text{Eu}_{0.003})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料的最佳激發波長為 340nm，且以 340nm 的輻射源激發此白光螢光材料，可同時產生波長分別為 438nm 與 583nm 的發射，分別屬於藍光與黃橘光，此兩種不同波段的發射光混合後，可產生白光發光。

本發明所提供之 $(\text{M}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{X}_2$ ，以約 300nm 至約 370nm 的紫外光激發時，可藉由調整 m 與 n 的比例得到不同色度的發射光，當 $m > 0$ 且為一定值，則 $m \gg n$ 時的發射波段為藍光、 $0.5 > n > 0$ 時的發射波段為白光、

$n \gg m$ 時發射波段為黃橘光。

表一所示為 $(\text{Sr}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 調變激發波長、 m 值與 n 值的色度變化之比較；且點1到點7的色度變化如第3圖所示，觀察點1到點7可以發現，在激發波長為340nm的條件下，調整 $(\text{Sr}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 的 m 值與 n 值，可以得到藍光、白光、黃光等各種不同範圍的發光。第3圖中的YAG:Ce連線則是商品YAG:Ce和藍光LED晶片混成之白光。比較本發明與YAG:Ce連線的色度座標，可發現本發明具有較高的演色性。

表一

激發波長 (nm)	點	$(\text{Sr}_{1-m-n}\text{Ce}_m\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$		(x, y)
340	1	$m = 0.01$	$n \doteq 0$	(0.17, 0.11)
	2	$m = 0.01$	$n = 0.003$	(0.29, 0.23)
	3	$m = 0.01$	$n = 0.005$	(0.31, 0.25)
	4	$m = 0.01$	$n = 0.007$	(0.40, 0.31)
	5	$m = 0.01$	$n = 0.01$	(0.41, 0.32)
	6	$m = 0.01$	$n = 0.03$	(0.47, 0.36)
357	7	$m \doteq 0$	$n \doteq 1.0$	(0.55, 0.43)
467	Simulated white light with YAG:Ce			(0.31, 0.27)

本發明之第二較佳實施例之白光螢光材料，以 $(\text{Sr}_{1-n}\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ ($0 < n < 1$)為例，係利用固態法於中低溫 ($800^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$) 所製備，包括下列步驟：依化學計量秤取氧化鋇(SrO)、氯化鋇(SrCl_2)、氧化鋁(Al_2O_3)、氧化鈰(CeO_2)及三氧化二鎔(Eu_2O_3)，研磨並均勻混合以上原料後，放入坩堝中再置入高溫爐，於氫氣及氫氣混合氣氛下，以約 $800^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ 燒結四至八小時後，即可得到本發明揭露之螢光材料： $(\text{Sr}_{1-n}\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ ，其中 $0 < n < 1$ 。

以上方法中的氯化鋇(SrCl_2)可以改用溴化鋇(SrBr_2)、氯化鈣(CaCl_2)、溴化鈣(CaBr_2)、溴化鋇(BaBr_2)或氯化鋇(BaCl_2)等各種不同的金屬鹽類；氧化鋇(SrO)可以改用氧化鈣(CaO)或氧化鋇(BaO)等各種不同的金屬鹽類；選用

不同的金屬鹽類可以得到本發明揭露之各種螢光材料。

根據以上方法所製備的 $(\text{Sr}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 與商品螢光材料 YAG:Ce 激發光譜的比較如第 4 圖所示，本發明中所合成之 $(\text{Sr}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 螢光材料可供波長約 300 nm 到波長約 430 nm 的輻射源激發，亦即可被紫外光、近紫外光或藍光所激發；YAG:Ce 商品的激發光譜則顯示在藍光波長範圍方可有效激發化 YAG:Ce 商品。

第 5 圖所示，係利用螢光光譜儀 (Fluorescence spectrophotometer) 所偵測本發明之第二較佳實施例所製備 $(\text{Sr}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料與 YAG:Ce 商品光致發光光譜之比較，其結果顯示本發明所提供之 $(\text{Sr}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料以波長為 360nm 輻射源激發，其發光波段約為 500nm 至約 740nm，且主發射峰係波長約為 583nm 之黃橘光；YAG:Ce 螢光材料商品發光波段約為 500nm 至約 700nm 之間，且主發射峰係波長約為 550nm 之黃光；兩者相較之下，本發明所提供的 $(\text{Sr}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料有發光範圍紅位移的現象，由第 3 圖與第 4 圖證明了將此黃橘光螢光粉搭配 300nm 到波長約 430nm 的輻射源，則發射光與輻射源結合，可得到更高演色性的白光。

本發明提供之 $(\text{Sr}_{1-n}\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料可為紫外光、近紫外光或藍光所激發，激發後發出黃橘光，色度座標值之 x 值約為 0.40-0.60， y 值約為 0.40-0.50。當 $(\text{Sr}_{1-n}\text{Eu}_n)_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料為波長約 380nm 至約 410nm 輻射源所激發，激發後發出的黃橘光會與輻射源混合後放出白光，色度座標值之 x 值約為 0.25-0.50， y 值約為 0.40-0.50。

如第 6 圖所示，係本發明提供之 $(\text{Sr}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 白光螢光材料與商品化的螢光材料 YAG:Ce 的 CIE 色度座標比較圖，本發明提供之 $(\text{Sr}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ 受 360nm 激發源激發後的發光色度座標為(0.55, 0.43) 之黃橘光，YAG:Ce 商品受 467nm 激發源激發後的發光色度座標為(0.48, 0.50) 之黃光。

因此，本發明所揭露之白光螢光材料，可應用於發光裝置，發光裝置係包括一半導體光源，例如：發光二極體或雷射二極體，此半導體光源可發出紫外光、近紫外光或藍光之光源。當半導體光源搭配本發明之白光螢光材料時，可發射不同顏色的發光波段。

綜上所述，本發明所提供的白光螢光材料不僅具有新穎的組成成分，且可於中低溫製備，具有寬廣的激發範圍(從紫外光到藍光區域)，可搭配易取得之紫外光或藍光輻射源晶片。此外，本發明所提供之螢光材料可以經由調整組成成分比例改變發光波段，可跨越藍光、白光、黃橘光。

以上所述僅為本發明較佳實施例而已，並非用以限定本發明申請專利權利；同時以上的描述對於熟之本技術領域之專門人士應可明瞭與實施，因此其他未脫離本發明所揭示之精神下所完成的等效改變或修飾，均應包含於下述之申請專利範圍。

【圖式簡單說明】

- 第 1 圖 係本發明之第一較佳實施例之激發光譜
- 第 2 圖 係本發明之第一較佳實施例之光致發光光譜
- 第 3 圖 係本發明之第一較佳實施例與 YAG:Ce 商品混成白光之色度座標比較圖
- 第 4 圖 係本發明之第二較佳實施例與 YAG:Ce 商品之激發光譜之比較圖
- 第 5 圖 係本發明之第二較佳實施例與 YAG:Ce 商品之激發光譜之光致發光光譜比較圖
- 第 6 圖 係本發明之第二較佳實施例之與 YAG:Ce 商品之 CIE 色度座標比較圖

【主要元件符號說明】

無

十、申請專利範圍：

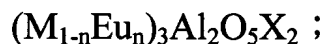
1. 一種白光螢光材料，其化學通式如下：



其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；其中

$$0 < m < 1, 0 < n < 1$$

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料係可為紫外光、近紫外光或藍光所激發。
3. 如申請專利範圍第 2 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料受激發後，發光波段可為藍光到黃橘光的範圍。
4. 如申請專利範圍第 2 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料受激發後具有兩個發光波段，分別位於藍光與黃橘光範圍。
5. 如申請專利範圍第 1 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料可為波長約 300 nm 至約 370 nm 輻射源所激發，且該螢光材料受激發後之發射光色度座標值之 x 值約為 0.25-0.50， y 值約為 0.25-0.40。
6. 如申請專利範圍第 1 項所述之白光螢光材料，其中當調整 m 與 n 的比例時，該白光螢光材料受激發後的發光範圍改變。
7. 如申請專利範圍第 1 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料係由固態法製備，燒結溫度約 800°C~約 1100°C。
8. 一種白光螢光材料，其化學通式如下：



其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；其中 $0 < n < 1$ 。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料係可為紫外光、近紫外光或藍光所激發。
10. 如申請專利範圍第 9 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料受激發後，發光波段可為藍光到黃橘光的範圍。

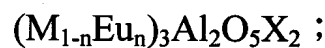
11. 如申請專利範圍第 8 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料可為波長約 300nm 至約 430nm 輻射源所激發，且受激發後的發光波段為約 500nm 至約 740nm。
12. 如申請專利範圍第 11 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料受激發後發出黃橘光，色度座標值之 x 值約為 0.40-0.60， y 值約為 0.40-0.50。
13. 如申請專利範圍第 11 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料可為波長約 380nm 至約 440nm 輻射源所激發，且該白光螢光材料受激發後之發射光與該輻射源混合後放出白光，色度座標值之 x 值約為 0.25-0.50， y 值約為 0.40-0.50。
14. 如申請專利範圍第 8 項所述之白光螢光材料，其中該白光螢光材料係由固態法製備，燒結溫度約 800°C~約 1100°C。
15. 一種發光裝置，包括：
 - 一半導體光源；以及
 - 一種白光螢光材料，可為該半導體光源所激發，其化學通式如下：

$$(M_{1-m-n}Ce_mE_n)_3Al_2O_5X_2;$$
 其中 M 係選自由 Ca、Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一；X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；其中

$$0 < m < 1, 0 < n < 1$$
16. 如申請專利範圍第 15 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料係可為紫外光、近紫外光或藍光所激發。
17. 如申請專利範圍第 16 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料受激發後，發光波段可為藍光到黃橘光的範圍。
18. 如申請專利範圍第 16 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料受激發後具有兩個發光波段，分別位於藍光與黃橘光範圍。
19. 如申請專利範圍第 15 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料可為波長約 300nm 至約 370nm 輻射源所激發，且該白光螢光材料受激發後之發射光色

度座標值之 x 值約為 0.25-0.50， y 值約為 0.25-0.40。

20. 如申請專利範圍第 16 項所述之發光裝置，其中當調整 m 與 n 的比例時，該白光螢光材料受激發後的發光範圍改變。
21. 如申請專利範圍第 15 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料係由固態法製備，燒結溫度約 800°C ~約 1100°C 。
22. 如申請專利範圍第 15 項所述之發光裝置，其中該半導體光源包括一發光二極體。
23. 如申請專利範圍第 15 項所述之發光裝置，其中該半導體光源包括一雷射二極體。
24. 如申請專利範圍第 15 項所述之發光裝置，其中該半導體光源係可發出紫外光、近紫外光或藍光之光源。
25. 一種發光裝置，包括：
 - 一半導體光源；以及
 - 一種白光螢光材料，可為該半導體光源所激發，其化學通式如下：

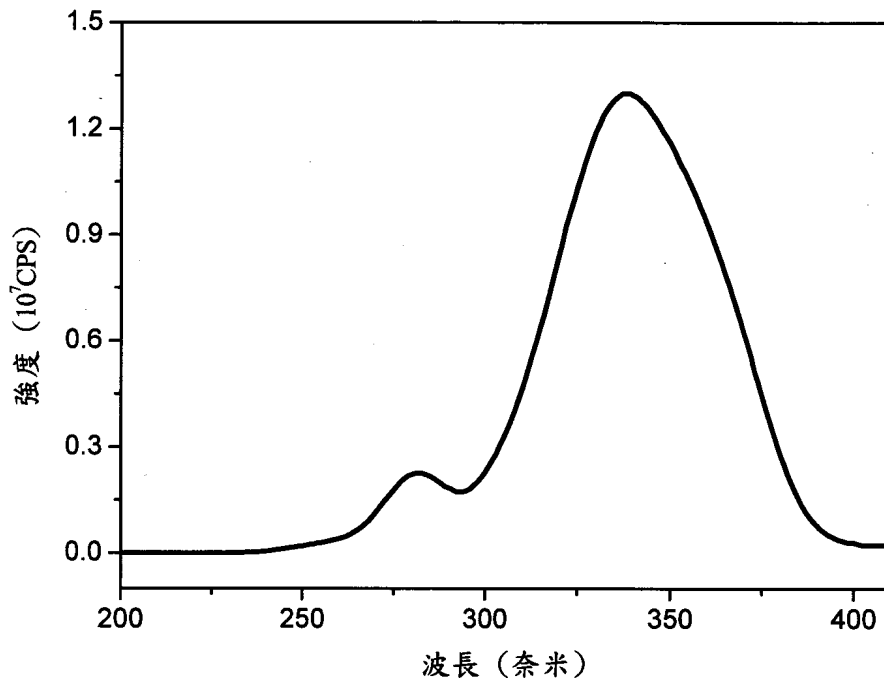


其中 M 係選自由 Ca 、 Sr 及 Ba 所組成之族群至少其中之一； X 係選自 Cl 及 Br 所組成之族群至少其中之一；其中 $0 < n < 1$ 。

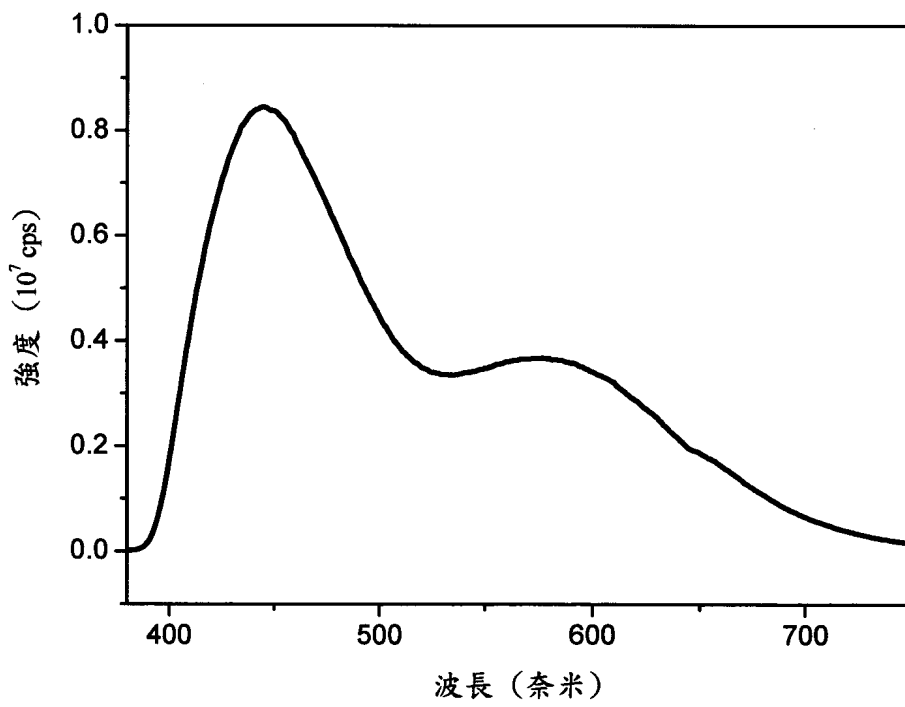
26. 如申請專利範圍第 25 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料係可為紫外光、近紫外光或藍光所激發。
27. 如申請專利範圍第 26 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料受激發後，發光波段可為藍光到黃橘光的範圍。
28. 如申請專利範圍第 25 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料可為波長約 300nm 至約 430nm 輻射源所激發，且受激發後的發光波段為約 500nm 至約 740nm 。
29. 如申請專利範圍第 28 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料受激發後發出黃橘光，色度座標值之 x 值約為 0.40-0.60， y 值約為 0.40-0.50。

30. 如申請專利範圍第 25 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料可為波長約 380nm 至約 440nm 輻射源所激發，且該白光螢光材料受激發後之發射光與該輻射源混合後放出白光，色度座標值之 x 值約為 0.25-0.50， y 值約為 0.40-0.50。
31. 如申請專利範圍第 25 項所述之發光裝置，其中該白光螢光材料係由固態法製備，燒結溫度約 800°C~約 1100°C。
32. 如申請專利範圍第 25 項所述之發光裝置，其中該半導體光源包括一發光二極體。
33. 如申請專利範圍第 25 項所述之發光裝置，其中該半導體光源包括一雷射二極體。
34. 如申請專利範圍第 25 項所述之發光裝置，其中該半導體光源係可發出紫外光、近紫外光或藍光之光源。

十一、圖式：



第 1 圖



第 2 圖