

研究简报

 $\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的结构与荧光性质王喜贵^{*,1} 吴红英¹ 杨展澜² 翁诗甫² 吴瑾光²⁽¹⁾ 内蒙古师范大学化学系, 呼和浩特 010022)⁽²⁾ 北京大学化学与分子工程学院, 稀土材料化学及应用国家重点实验室, 北京 100871)

关键词: P-Si 体系 发光性质 Tb^{3+}
 分类号: 0613.62 0613.72 0614.341

近年来, 掺稀土离子发光材料的研究引起了人们的极大兴趣, 已经制备出各种有应用价值的掺稀土发光材料, 如掺 Tb^{3+} 的三基色发光粉等。由于稀土离子的发光极易受基质的影响, 且在不同基质中稀土离子的发光强度不同。所以人们的研究重点集中在改变基质材料上, 以减少昂贵稀土的掺杂量, 从而提高稀土的发光强度。 Tb^{3+} 能发射特征的绿色荧光, 其发光强度高, 量子效率高, 所以围绕铽合成不同基质的发光材料一直是人们所感兴趣的研究课题。Zhang H. X. 等^[1] 制备了掺杂 Tb^{3+} 、 Eu^{3+} 的 Zn_2SiO_4 体系发光材料, 该材料像广泛应用于电视和 CRT 的荧屏上的发光材料一样具有优越的发光特性。Strek W. 等^[2] 制备了掺杂 Tb^{3+} 、 Eu^{3+} 离子的 $\text{KYb}(\text{WO}_4)_2$ 体系发光材料。于士进等^[3] 制备了铈、铽、钆共激活的硼磷酸钪绿色荧光粉, 并研究了 Ce^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Gd^{3+} 的发光及它们之间的相互作用。Couwenberg I. 等^[4] 制备了 $\text{TbAl}_3(\text{BO}_3)_4$ 发光材料, 通过研究体系中 Tb^{3+} 的发光特性, 得到了一些新的研究成果。任国浩等^[5] 用非真空 Bridgman 方法制备了掺铽离子的氟化铅晶体, 并对其发光特性进行了系统的分析。Shun-ichi Kubota 等^[6] 在 $\text{SrLaGa}_3\text{O}_7$ 体系中掺杂 Tb^{3+} 、 Eu^{3+} 和 Tm^{3+} , 并研究了稀土离子在该体系中的发光特性。Shengli Liu 等^[7] 用溶胶-凝胶法制备了掺杂 Tb^{3+} 、 Eu^{3+} 离子的 $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ 体系发光材料并研究了其光学特性。我们也研究了 Tb^{3+} 在

SiO_2 基质中的发光性质^[8-10]。从以上研究看, 改变基质体系, 提高 Tb^{3+} 的发光强度, 是其研究的主要目标。磷酸盐体系能提供较低的跃迁温度, 在许多非线性光学材料中已被应用。本文从寻找新的基质出发, 以磷酸或五氧化二磷引入磷, 以正硅酸乙酯引入硅, 制成了掺 Tb^{3+} 的 Si-P 体系发光材料, 研究了其结构与发光特性。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

正硅酸乙酯 (TEOS) (A. R.), 北京化工厂, 无水乙醇 (A. R.), 磷酸 (A. R.), 北京红星化工厂, 五氧化二磷 (C. R.), 上海联合化工厂, 水为蒸馏水, $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ TbCl_3 溶液由 Tb_4O_7 (含量 $\geq 99.9\%$, 包头稀土研究院) 直接称量, 用 1:1 的盐酸溶解后, 除去盐酸后配制。

荧光光谱采用 F-4500 型荧光光谱仪 (日本日立公司) 测定, 使用 390nm 滤光片, 入射和出射狭缝为 2.5nm, 扫描速率 $240 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$, 光电倍增管电压 400V。红外光谱用 Nicolet 公司 Magna 750 型傅立叶变换红外光谱仪测定, 采用显微红外测试, 扫描次数 128 次, 分辨率 4 cm^{-1} , 显微镜型号为 Nic-plan IR Microscope。远红外采用石蜡油研磨法, 样品与石蜡油研磨成糊状, 涂于高密度聚乙烯窗片上, 128 次扫描, 分辨率 2 cm^{-1} 。拉曼光谱采用 Nicolet 傅立叶变换

收稿日期: 2002-09-18。收修改稿日期: 2002-11-25。

国家重点基础研究发展规划资助项目 (No: G1998061311), 国家自然科学基金资助项目 (No: 20161001, No. 200235), 内蒙古自治区自然科学基金资助项目 (No: 20010901-14), 内蒙古师范大学和北京大学合作项目。

* 通讯联系人。E-mail: wangxigui@21cn.com

第一作者: 王喜贵, 男, 38 岁, 硕士, 副教授; 研究方向: 稀土发光材料。

光谱仪, 分辨率 8cm^{-1} , 扫描次数 1000 次。X-射线衍射采用日本理学 Rigaku 型 D/max-2000 测定, 辐射源 $\text{Cu K}\alpha$ 。透射电镜采用 HITACHI H-800 Electron Microscope。

1.2 掺 Tb 的 P-Si 体系发光材料的制备

在 P-Si 体系中, P 可以通过 P_2O_5 或 H_3PO_4 引入。经实验证明通过 P_2O_5 引入 P 和通过 H_3PO_4 引入 P, 实验结果是一样的。由于 H_3PO_4 既可以引入 P 又可作为正硅酸乙酯水解的催化剂, 所以采用 H_3PO_4 引入 P。

按表 1 的实验配比, 分别依次加入正硅酸乙酯、无水乙醇、85% 的 H_3PO_4 溶液、 $0.10\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ TbCl_3 溶液, 混合, 控制溶液总体积为 20.0mL , 搅拌, 混合均匀, 放入培养皿中, 在室温 (25°C) 下放置, 12h 变成凝胶, 再放置 48h, 变成透明的凝胶, 然后在空气中退火处理, 条件是: 50°C , 24h; 100°C , 12h; 150°C , 10h; 200°C , 6h; 300°C , 8h; 500°C , 5h; 800°C , 2h; 1000°C , 1h。

2 结果与讨论

2.1 $\text{Si}_3\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的结构

2.1.1 中红外光谱

$\text{Si}_3\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的中红外光谱见图 1, 各峰归属为: 1362.7cm^{-1} , 1313.9cm^{-1} 处的峰是 $\text{P}=\text{O}$ 伸缩振动; 1240.5cm^{-1} , 1170.7cm^{-1} 处的峰是 PO_4 聚合多面体振动; 1108.6cm^{-1} 处的峰是 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 的反对称伸缩振动, 1027.7cm^{-1} 处的峰是 $\text{P}-\text{O}-\text{Si}$ 反对称伸缩振动; 926cm^{-1} 处的峰是 $\text{P}-\text{O}-\text{Si}$ 对称伸缩振动 (肩峰); 796.9cm^{-1} 处的峰是 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 对称伸缩振动; 713.3cm^{-1} 处的峰是 $\text{P}-\text{O}-\text{Si}$ 弯曲振动; 668.8cm^{-1} 处的峰是 PO_4 弯曲振动。通过 IR 分析, 确定材料中

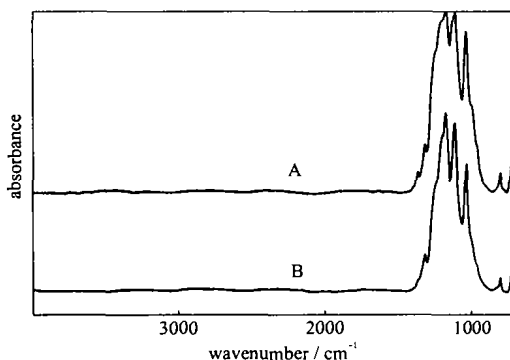


图 1 $\text{Si}_3\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的红外光谱图

Fig. 1 Infrared spectra of $\text{Si}_3\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$

A: P was introduced by P_2O_5

B: P was introduced by H_3PO_4

形成了 $\text{P}-\text{O}-\text{Si}$ 键及形成了 PO_4 聚合多面体。图 1 中 A 为 P 以 P_2O_5 引入得到的 P-Si 体系的红外光谱, B 为 P 以 H_3PO_4 引入得到的 P-Si 体系的红外光谱, 从图上看, 两者比较接近, 说明 P 以 P_2O_5 和 H_3PO_4 引入对 P-Si 体系的结构没有明显影响。

2.1.2 拉曼光谱

$\text{Si}_3\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的拉曼光谱见图 2, 各峰的归属为: 1332cm^{-1} 处的峰是 $\text{P}=\text{O}$ 伸缩振动; 1231cm^{-1} ,

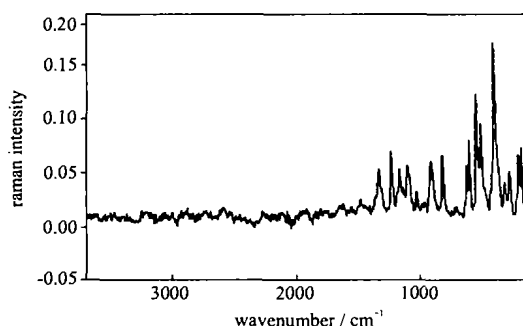


图 2 $\text{Si}_3\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的拉曼光谱

Fig. 2 Raman spectrum of $\text{Si}_3\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$

表 1 掺杂不同量 Tb^{3+} 溶液的实验配比

Table 1 Prescription of the Solution with Different Tb^{3+} -Doped Concentration

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TEOS/mL	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
$0.10\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ TbCl_3 /mL	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
ethanol/mL	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
85% H_3PO_4 /mL	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
distilled water/mL	7.30	7.10	6.90	6.70	6.50	6.30	6.10	5.90	5.70	5.50
Tb: P_2O_5 (mass ratio)	1.207	1.409	1.610	1.811	2.012	2.214	2.415	2.616	2.817	3.018
Tb: SiO_2 (mass ratio)	1.458	1.702	1.945	2.188	2.431	2.674	2.917	3.160	3.403	3.646
SiO_2 : P_2O_5 (mass ratio)				0.828						
Tb/% (mass fraction)	0.664	0.774	0.884	0.993	1.102	1.211	1.320	1.429	1.536	1.644

1165cm^{-1} 处的峰是 PO_4 聚合多面体振动; 1101cm^{-1} 处的峰为 Si-O-Si 的反对称伸缩振动, 1030cm^{-1} 处的峰是 P-O-Si 反对称伸缩振动; 911cm^{-1} 处的峰是 P-O-Si 对称伸缩振动; 817cm^{-1} 处的峰是 Si-O-Si 对称伸缩振动; 709cm^{-1} 处的峰是 P-O-Si 弯曲振动; 539cm^{-1} 处的峰是 Si-O-Si 弯曲振动; 391cm^{-1} , 315cm^{-1} , 274cm^{-1} , 203cm^{-1} , 176cm^{-1} 处的峰是晶体中的晶格振动。

拉曼光谱也确定材料中存在 P-O-Si 键及 PO_4 聚合多面体, 并且在 $400 \sim 100\text{cm}^{-1}$ 产生了较强的晶格振动, 证明此材料以晶体状态存在。

2.1.3 远红外光谱

远红外光谱主要在 573cm^{-1} , 540cm^{-1} , 469cm^{-1} , 331cm^{-1} , 285cm^{-1} 处产生吸收峰, 主要归属于 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 晶格振动吸收, 这也证明材料是以晶体状态存在。

2.1.4 XRD 谱图

$\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的 XRD 谱图见图 3, 其数据列于

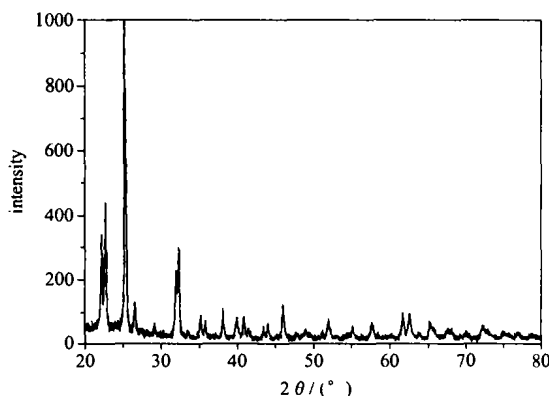


图3 $\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的 XRD 谱图

Fig. 3 X-ray diffraction pattern of $\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$

表 2, 其衍射峰与 JCPDS 粉末衍射卡 40-457 非常相符, 说明样品无其他杂相, 为单一晶态, 六方晶系, 结构为 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$, 由此计算的晶胞参数为: $a = 7.825\text{nm}$, $b = 7.825\text{nm}$, $c = 20.79\text{nm}$ 。X-射线的图形并不随 Tb^{3+} 的掺入量而改变, 说明 Tb^{3+} 的掺入并未影响 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 的结构。磷无论开始是通过 P_2O_5 引入还

表 2 XRD 谱数据

Table 2 XRD Data of $\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$

No	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	2θ	FWHM	<i>D</i> -value	intensity	<i>I</i> / <i>I</i> ₀
1	0	0	6	22.180	0.212	4.0045	1486	31
2	1	0	5	22.680	0.212	3.9174	1893	40
3	1	1	3	25.300	0.23	3.5173	4747	100
4	2	0	1	26.540	0.235	3.3558	552	12
5	1	0	7	29.120	—	3.0640	294	6
6	1	1	6	31.920	0.235	2.8014	973	20
7	2	0	5	32.280	0.235	2.7709	1306	28
8	0	0	9	33.480	—	2.6743	184	4
9	2	1	1	35.180	0.282	2.5489	390	8
10	2	1	2	35.820	—	2.5048	273	6
11	2	1	4	38.080	0.259	2.3612	427	9
12	2	0	8	39.940	0.165	2.2554	367	8
13	1	1	9	40.800	0.329	2.2098	357	8
14	1	0	11	43.460	—	2.0805	236	5
15	1	1	10	44.020	0.212	2.0554	300	6
16	2	2	0	46.000	0.212	1.9714	574	12
17	2	2	3	47.400	—	1.9050	164	3
18	3	1	3	49.520	—	1.8392	137	3
19	3	1	5	51.880	0.188	1.7609	303	6
20	4	0	3	55.120	—	1.6648	230	5
21	3	1	8	57.660	0.212	1.5974	310	7
22	2	1	13	61.720	0.259	1.5017	397	8
23	4	0	8	62.560	0.282	1.4835	411	9
24	3	2	6	63.760	—	1.4585	144	3
25	2	1	14	65.260	0.282	1.4285	303	6
26	2	0	17	72.180	—	1.3077	231	5

图 4 $\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ 的 TEM 照Fig. 4 TEM photograph of $\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$

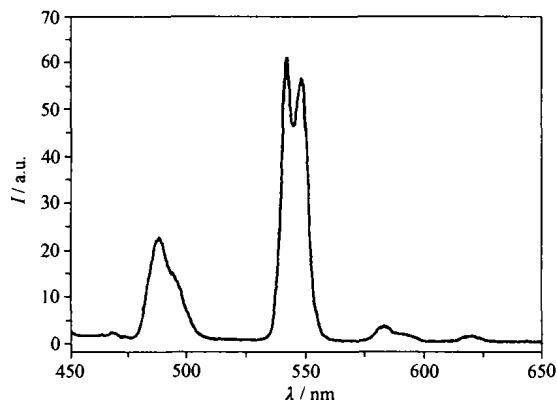
是利用 H_3PO_4 引入, 也都不影响晶体的结构, XRD 数据也证明了这一点。

2.1.5 TEM 照片

图 4 是含 1.429% Tb^{3+} 的 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 晶体的透射电镜(TEM)照片, 放大 2 万倍, 从照片上可看到呈聚合态的 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 晶体, 图中没有明显的尺寸分布特征, 能观察到横纵向生长的层状晶体, 具有明显的六方晶系结构。

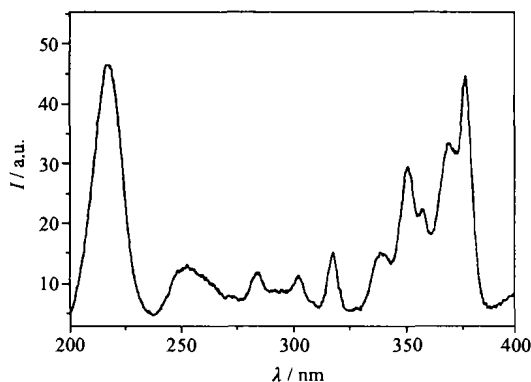
2.2 Tb^{3+} 在 P-Si 体系中的发光性质

图 5 显示的是 Tb^{3+} 在 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 体系中的荧光发射光谱($\lambda_{\text{ex}} = 218\text{nm}$)。共产生 5 个峰, 位置分别是 488nm, 542nm, 547nm, 582nm, 617nm, 其中, 488nm 为 $^5\text{D}_3 \rightarrow ^7\text{F}_6$ 跃迁产生的, 其峰形在 493nm 处有一个肩峰, 其余归属于 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_j (j = 6, 5, 4, 3)$ 的跃迁。

图 5 Tb^{3+} 在 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 体系中的发射光谱Fig. 5 Fluorescence emission spectrum of Tb^{3+} in $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$

Tb^{3+} 的 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ 跃迁产生特征的绿色荧光, 位置一般在 545nm, 强度较大, 而在 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 基质中, 此跃迁分裂为两个峰, 位置分别是 542nm、547nm, 其中 542nm 峰的强度大于 547nm 峰的强度。582nm 处的峰归属于 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_4$ 的跃迁, 617nm 处的峰归属于 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_3$ 的跃迁。

图 6 为 Tb^{3+} 在 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 基质中的激发光谱($\lambda_{\text{em}} = 545\text{nm}$) 呈现较多的激发峰, 其位置分别是 218nm, 251nm, 284nm, 350nm, 357nm, 369nm, 376nm, 其中 218nm 的激发峰宽而最强, 对应于 Tb^{3+} 的 $4f^8 \rightarrow 4f^7 5d^1$ 跃迁。376nm 的激发峰次之, 但与 218nm 的峰的强度相差不多, 是由 Tb^{3+} 的 $f-f$ 跃迁产生的, 其余峰都对应于 Tb^{3+} 的 $4f^8$ 能级的跃迁。218nm 峰的强度决定在此基质中 Tb^{3+} 的发光强度。利用 218nm 的光作激发光源, 产生的 542nm, 547nm 处的发射峰的强度最大, 即绿色荧光最强。

图 6 Tb^{3+} 在 $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ 体系中的激发光谱Fig. 6 Fluorescence excitation spectrum of Tb^{3+} in $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$

2.3 Tb^{3+} 的荧光强度与退火温度的关系

从 Tb^{3+} 掺杂量为 1.429% 的 P-Si 体系中, 不同退火温度下, 荧光强度的测量值上看(见表 3), 随着退火温度的提高, 荧光强度逐渐增大, 当退火温度达到 800℃ 以上时, 晶体结构趋于稳定, 荧光强度基本不随退火温度的增加而增强了。

2.4 Tb^{3+} 掺杂量与发光强度的关系

表 4 显示的是 Tb^{3+} 掺杂量与发光强度的关系。从表中可看出, Tb^{3+} 掺杂量的增加对 Tb^{3+} 在 P-Si 基

表 3 Tb^{3+} 的荧光强度与退火温度的关系

Table 3 Relation between the Fluorescence Intensities and Annealing Temperature

temperature/℃	25	50	100	150	200	300	500	800	1000
fluorescence intensity/a. u.	—	11	15	21	36	42	53	75	76

表4 Tb^{3+} 的荧光强度与掺杂量的关系Table 4 Relation between the Fluorescence Intensities(a. u.) and Tb^{3+} Mass Fraction(%)

Tb^{3+}	488nm	542nm	547nm	582nm	617nm
0.664	22	56	52	5.4	1.8
0.774	22	57	52	5.8	1.9
0.884	26	61	56	3.7	1.8
0.993	26	71	64.5	3.8	1.3
1.102	26	72	65	3.9	1.5
1.211	24	69	62	2.5	0.4
1.320	29	82	75	3.2	1.4
1.429	30	83	75	3.5	0.9
1.536	30	84	76	3.6	0.9
1.644	30	85	75	3.6	1.0

质中的发光强度影响不大,虽然发光强度随 Tb^{3+} 掺杂量的增加而逐渐增加,但增加的十分缓慢。 Tb^{3+} 的掺杂量由 0.664% 增加到 1.644%, 增加了 2.5 倍,而 542nm 的发射峰强度由 56a. u. 增加到 85a. u., 增加较少。并且发现 Tb^{3+} 掺杂量在一定范围变化时,其发光强度基本不变。如: 当 Tb^{3+} 掺杂量在 0.664% ~ 0.774% 时, 其 542nm 的发射强度基本维持在 56 a. u. 左右; 当 Tb^{3+} 掺杂量在 0.884% ~ 1.211% 时, 其发光强度维持在 71a. u. 左右; 当 Tb^{3+} 掺杂量在 1.320% ~ 1.644% 时, 其发光强度维持在 84a. u. 左右。

3 结 论

制备了掺 Tb^{3+} 的 P-Si 体系, 确定体系为单一晶态, 呈六方晶系, 结构为 $\text{Si}_3\text{O}(\text{PO}_4)_6$, 并发现 Tb^{3+} 在此体系中发光性质较稳定, 并有较强的发光。

参 考 文 献

- [1] Zhang H. X., Buddudu S., Kam C. H., Zhou Y., Lan Y. L., Wong K. S., Ooi B. S., Ng S. L., Que W. X. *Materials Chemistry and Physics*, **2001**, **68**, 31.
- [2] Streck W., Deren P., Bednarkiewicz A. *Journal of Luminescence*, **2000**, **87** ~ **89**, 999.
- [3] DING Shi-Jin(丁士进), ZHANG Wei(张 卫), XU Bao-Qing(徐宝庆), WANG Ji-Tao(王季陶) *Faguang Xuebao (Chinese Journal of Luminescence)*, **2000**, **21**(2), 139.
- [4] Couwenberg I., Binnemans K., De Leebeeck H., Gorller-Walrand C. *Journal of Alloys and Compounds*, **1998**, **274**, 157.
- [5] REN Guo-Hao(任国浩), SHEN Ding-Zhong(沈定中), LIU Guang-Yu(刘光煜), NI Hai-Hong(倪海洪), LI Ze-Kui(李泽逵), YIN Zhi-Wen(殷之文) *Faguang Xuebao (Chinese Journal of Luminescence)*, **2000**, **21**(3), 190.
- [6] Shun-ichi Kubota, Makoto Lzumi, Hisanori Yamane, Masahiko Shimada *Journal of Alloys and Compounds*, **1999**, **283**, 95.
- [7] Liu Sheng-Li, Su Qiang *Journal of Alloys and Compounds*, **1997**, **255**, 102.
- [8] Wang Xi-Gui, Wu Hong-Ying, Xie Da-Yao, Wen Shi-Fu, Wu Jin-Guang *Proceeding of ICETS 2000- ISAM, Session 3, Vol. 1*, Song Jian, Rui Yu-Yin. Ed., Beijing: New World Press, **2000**, p779.
- [9] WANG Xi-Gui(王喜贵), WU Hong-Ying(吴红英), XIE Da-Tao(谢大弢), WENG Shi-Fu(翁诗甫), WU Jin-Guang(吴瑾光) *Guangpuxue Yu Guangpu Fenxi (Spectroscopy and Spectral Analysis)*, **2000**, **20**(6), 803.
- [10] XIE Da-Tao(谢大弢), WU Jin-Guang(吴瑾光), MA Gang(马 刚), XU Guang-Xian(徐光宪), XU Duan-Fu(徐端夫) *Wuli Xuebao (Acta Physica Sinica)*, **1999**, **48**(9), 1773.

Structure and Luminescence Properties of $\text{Si}_5\text{P}_6\text{O}_{25}:\text{Tb}^{3+}$ System

WANG Xi-Gui^{*1} WU Hong-Ying¹ YANG Zhan-Lan² WENG Shi-Fu² WU Jin-Guang²

(¹ Department of Chemistry, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022)

(² College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, State Key Laboratory of Rare Earth Materials Chemistry and Application, Beijing 100871)

Tb^{3+} ions were incorporated in P-Si matrix material through a sol-gel process. Luminescence properties of Tb^{3+} as a function of dopant, firing temperature, composition and structure of matrices were investigated. The gels synthesized by the reaction of P_2O_5 or H_3PO_4 with tetraethoxy silane and TbCl_3 as dopant were fired in air from the temperature 25 ~ 1000°C to form P-Si crystalline phase. The crystal structure was determined by powder X-ray diffraction. $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ were the only crystalline phase and belong to hexagonal crystal system. The emission of $^5\text{D}_4-^7\text{F}_5$ (~ 545nm) transition of Tb^{3+} in the P-Si system is composed of two peaks. The amount of doping Tb^{3+} varied from 0.664% to 1.644%, and no obvious concentration quenching was observed in this doping concentration range. The intensity of Tb^{3+} emission increased with firing temperature increasing and becomes stable at 800 ~ 1000°C.

Keywords: P-Si system luminescence properties Tb^{3+} ion