

# 酸碱制备条件对 $B_2O_3-SiO_2:Tb^{3+}$ 发光材料性能的影响

马 辉 王喜贵\* 娜米拉

(内蒙古师范大学化学与环境科学学院功能材料物理与化学自治区重点实验室,呼和浩特 010022)

**摘 要** 为了研究不同水解条件下制备掺杂稀土离子发光材料的发光差异,通过溶胶-凝胶法以正硅酸乙酯和硼酸三甲酯为原料,制备了稀土离子  $Tb^{3+}$  掺杂的以  $B_2O_3-SiO_2$  为基质的发光材料。通过荧光激发光谱和发射光谱分析了不同酸碱催化条件下制备材料的发光情况,结果显示酸碱二步催化下制备的材料发光性能最好。利用 FT-IR、XRD 等对其结构进行分析,发现在  $300^\circ C$  退火处理后有  $B_2O_3$  晶体生成,此时激发光谱蓝移; $600^\circ C$  退火处理后有  $Si-O-B$  键存在,此时发光性能最好,表明 B 掺杂  $SiO_2$  的网络有利于材料的发光。结合结构分析在酸碱条件下的水解机理,认为酸碱二步催化法能调节正硅酸乙酯和硼酸三甲酯的水解速率,更有利于 B 掺杂进  $SiO_2$  结构中,使制备的材料发光性能增强。

**关键词** 溶胶-凝胶法,  $Tb^{3+}$ , 水解机理

## Influence of acid-base catalysis condition on the luminescent property of $B_2O_3-SiO_2:Tb^{3+}$

Ma Hui Wang Xigui Namila

(Key Laboratory for Physics and Chemistry of Functional Materials, College of Chemistry and Environment Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022)

**Abstract** In order to study the luminescence materials doped with rare earth ions under different hydrolysis conditions, the material based on  $B_2O_3-SiO_2$  doped with rare-earth ion  $Tb^{3+}$  was synthesized by sol-gel method. Excitation and emission spectroscopy were used to study luminescent properties under the different acid-base catalysis conditions. The results showed that the luminescence in two-step acid-base was best. Using TR, XRD and other modern test technology characterized and analyzed the structure. Results showed that after annealing at  $300^\circ C$   $B_2O_3$  crystals were formed, the excitation spectrum had blue shift, and produced  $Si-O-B$  after annealing at  $600^\circ C$ . At this point, the luminescent property was best. It indicated that the network structure of the boron doped silicon dioxide was helpful to the luminescence of material. Finally, the reason was analyzed from the point of view of different hydrolysis mechanism under the acid and alkali conditions. It was concluded that the hydrolysis products of two esters can be more uniformly mixed in the presence of two-step acid-base, which was helpful for B doping into  $SiO_2$  structure.

**Key words** sol-gel method,  $Tb^{3+}$ , hydrolysis mechanism

白色发光二极管(WLED)由于具有节能环保、高效、长寿命的优点,被认为是 21 世纪的新光源<sup>[1]</sup>。目前近紫外灯芯+红色/蓝色/绿色发光体是制备 WLED 灯的常用方法之一<sup>[2-3]</sup>。制备能被紫外光有效激发且具有较强发射的绿色发光材料是目前研究的一个热点。将稀土离子掺杂到玻璃中,将会大大

加强玻璃的发光性能、提高光电转换速率<sup>[4]</sup>,因此将稀土离子掺杂进玻璃研究其光学性能受到了人们的关注。本研究利用溶胶-凝胶法,制备了以  $B_2O_3-SiO_2$  为基质的掺  $Tb^{3+}$  的无机发光材料,并研究了制备条件、基质组成、退火温度等对材料结构和  $Tb^{3+}$  发光性能的影响。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(21261010);内蒙古自治区自然科学基金项目(2015MS0227);内蒙古师范大学“十百千”人才工程第二层次人选(学科带头人)研究基金项目(RCPY-2-2012-K-046)

**作者简介:**马辉(1990-),男,硕士研究生,从事稀土发光材料研究。

**联系人:**王喜贵。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

正硅酸乙酯 (TEOS,  $\text{SiO}_2$  质量含量不低于 28.0%, 分析纯), 国药集团化学试剂公司; 硼酸三甲酯 (分析纯), 天津市光复精细化工研究所; 无水乙醇 (分析纯), 天津市北联化学品开发公司; 氨水 (分析纯), 天津市风船化学试剂科技有限公司; 盐酸 (分析纯), 固安县金荣化工有限公司; 0.10mol/L  $\text{TbCl}_3$  溶液由  $\text{Tb}_4\text{O}_7$  直接称重, 用盐酸溶解后, 加入适量  $\text{H}_2\text{O}_2$  还原  $\text{Tb}_4\text{O}_7$ , 并除去盐酸和  $\text{H}_2\text{O}_2$  后配制而成。

荧光光谱使用荧光光谱仪 (F-4500 型, 日本日立公司) 测定, 测试条件为以 150W 的 Xe 灯作为激发光源, 入射和出射狭缝均为 2.5nm, 扫描速度为 1200nm/min, 光电倍增管电压 400V; 红外光谱使用傅里叶变换红外光谱仪 (6700 型, 美国 Nicolet 公司) 测定, 采用 KBr 压片法, 扫描次数 32 次, 分辨率  $4\text{cm}^{-1}$ ; X 射线使用粉末衍射仪 (Ultima VI 型, 日本理学公司) 测定, 射线源为  $\text{CuK}\alpha$ ,  $\lambda = 1.54\text{\AA}$ ,  $I = 40\text{mA}$ ,  $U = 40\text{kV}$ 。

### 1.2 样品的制备

实验中按表 1 所示首先配制因素 A 与因素 B 的溶液各 3 种水平, 充分搅拌后按表 2 的实验设计依次将因素 B 中 3 种水平的溶液分别滴加到因素 A3 种水平的溶液中, 得到 1—9 号实验样品。再加入 1.5mL  $\text{TbCl}_3$  溶液搅拌均匀后放入培养皿中, 在约  $20^\circ\text{C}$  放置 2d, 使正硅酸乙酯、硼酸三甲酯充分水解变成凝胶。然后进行退火处理, 退火温度分别为 200、300、400、500、600 和  $700^\circ\text{C}$ , 退火时间为 2h。实验确定  $\text{B}_2\text{O}_3\text{:SiO}_2$  摩尔配比为 1:2 时的发光效率最高。

表 1 正交试验因素水平表

| 水平 | 因素                            |                                               |
|----|-------------------------------|-----------------------------------------------|
|    | 因素 A<br>(A 组烧杯中溶液组成)          | 因素 B<br>(B 组烧杯中溶液组成)                          |
| 1  | 10mL 乙醇、9mL 蒸馏水<br>(中性条件)     | 2.3mL 正硅酸乙酯、1.1mL 硼酸三甲酯、16mL 乙醇 (中性条件)        |
| 2  | 10mL 乙醇、7mL 蒸馏水、2mL 氨水 (碱性条件) | 2.3mL 正硅酸乙酯、1.1mL 硼酸三甲酯、15mL 乙醇、1mL 盐酸 (酸性条件) |
| 3  | 10mL 乙醇、7mL 蒸馏水、2mL 盐酸 (酸性条件) | 2.3mL 正硅酸乙酯、1.1mL 硼酸三甲酯、15mL 乙醇、1mL 氨水 (碱性条件) |

表 2 两水平三因素正交试验方法

| 编号 | 因素   |      |
|----|------|------|
|    | 因素 A | 因素 B |
| 1  | A1   | B1   |
| 2  | A1   | B2   |
| 3  | A1   | B3   |
| 4  | A2   | B1   |
| 5  | A2   | B2   |
| 6  | A2   | B3   |
| 7  | A3   | B1   |
| 8  | A3   | B2   |
| 9  | A3   | B3   |

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\text{B}_2\text{O}_3\text{-2SiO}_2\text{:Tb}$ 材料的发光性质分析

#### 2.1.1 不同水解条件对发光性能的影响

不同水解条件下制备的掺杂  $\text{Tb}^{3+}$  的发光材料的发射光谱图见图 1 (激发波长为 340nm, 入射狭缝宽 2.5nm)。由于 3、6、9 号样品是正硅酸乙酯、硼酸三甲酯与氨水 (碱性条件) 直接混合, 会快速生成沉淀且制备的材料中没有观察到  $\text{Tb}^{3+}$  的特征发射峰, 在此不讨论。1、2 号是 A (中性) 加入到 B (中性和酸性) 条件制备的样品, 7、8 号是 A (酸性) 加入到 B (中性和酸性) 条件制备的样品, 上述样品发光都一般。4、5 号是 A (碱性) 加入到 B (中性和酸性) 条件制备的样品, 其中 5 号 A (碱性) 加入到 B (酸性) 条件制备的样品发光性能最好。

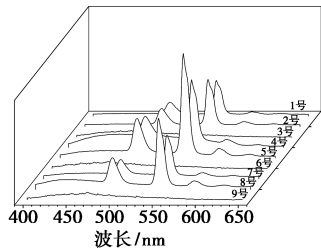


图 1  $\text{B}_2\text{O}_3\text{-2SiO}_2\text{:Tb}^{3+}$  不同水解条件下的发射光谱图

#### 2.1.2 激发光谱分析

图 2 为  $\text{B}_2\text{O}_3\text{-2SiO}_2\text{:Tb}^{3+}$  (1mol%) 发光材料中 5 号样品 (酸碱二步催化法) 经不同温度退火处理后, 在 544nm 监测波长下的激发光谱图。由图可知, 230~245nm 的激发带为  $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Tb}^{3+}$  电荷迁移带, 在  $200^\circ\text{C}$  退火处理后出现  $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Tb}^{3+}$  电荷迁移带但在  $300^\circ\text{C}$  以上此峰消失, 说明在高温下样品中掺杂的  $\text{Tb}^{3+}$  主要以  $\text{TbCl}_3$  的形式存在<sup>[5]</sup>。20、200、

700℃退火处理后出现 3 个特征峰:352nm 的吸收峰对应于  $Tb^{3+}$  的  $^7F_6 \rightarrow ^5L_9$  跃迁,369 和 378nm 为  $Tb^{3+}$  的  $^7F_6 \rightarrow ^5L_{10}$  跃迁激发峰劈裂成的 2 个峰,其强度基本相同<sup>[6-7]</sup>。而在 300~600℃退火处理后其在 340nm 附近形成了一个大的吸收峰,这是因为  $Tb^{3+}$  的发光属于 5d—4f 的外层电子跃迁,受基质环境的影响较大,所以推断在 300~600℃退火处理后基质中有新物质生成<sup>[8]</sup>。从激发光谱图中可以发现,600℃时样品发光性能较好,此时在紫外光区 340nm 处的吸收峰最强,因此选择 340nm 的紫外光作为其最佳激发波长。

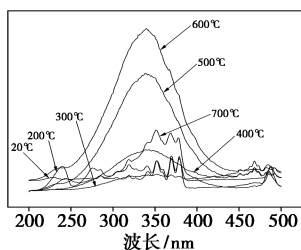


图 2  $B_2O_3-2SiO_2:Tb^{3+}$  (5 号样品)不同温度下的激发光谱图

### 2.1.3 发射光谱分析

图 3 为经不同退火温度处理后 5 号样品以 340nm 为激发波长测得的发射光谱图。由图可知,产生了 3 条谱线,分别在 492nm(中等)、544nm(很强)、590nm(弱)与  $Tb^{3+}$  的能级图相对应。3 条谱带的跃迁分别归属于 492nm ( $^5D_4 \rightarrow ^7F_6$ )、544nm ( $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ )、590nm ( $^5D_4 \rightarrow ^7F_4$ )。在正常情况下,544nm 荧光能级的跃迁几率最大,所以产生绿色的荧光。3 条谱带都是  $Tb^{3+}$  的 f-f 跃迁产生的,属于  $Tb^{3+}$  的特征谱带。以 340nm 紫外光作为激发波长,能得到发光性能优良的绿色发光材料。600℃时样品的发光强度最好,700℃时样品完全变为非晶态,原晶胞内部的对称性消失,导致发光变弱<sup>[9]</sup>,出现温度猝灭。

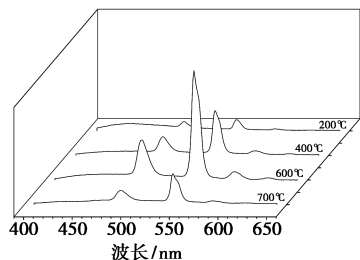


图 3  $B_2O_3-2SiO_2:Tb^{3+}$  (5 号样品)不同温度下的发射光谱图

## 2.2 $B_2O_3-2SiO_2:Tb$ 材料的结构分析

### 2.2.1 XRD 光谱分析

图 4 为 5 号样品在不同温度下的 XRD 谱图。由图可知,20℃时,在  $2\theta = 14.9^\circ, 28.3^\circ, 58^\circ$  出现了  $H_3BO_3$  (D010767) 晶体的特征峰,在  $2\theta = 23^\circ, 32.8^\circ, 47^\circ$  出现了  $NH_4Cl$  (P340710) 晶体的特征峰。在 200℃时,  $H_3BO_3$  (D010767) 晶体的特征峰消失,只剩下  $NH_4Cl$  (P340710) 晶体的特征峰。

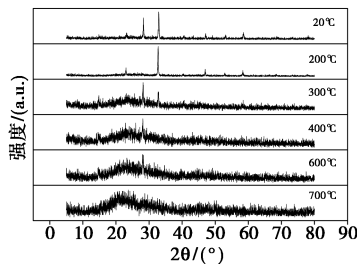


图 4  $B_2O_3-2SiO_2:Tb^{3+}$  (5 号样品)不同温度下的 XRD 谱图

当温度达到 300℃时,  $NH_4Cl$  晶体特征峰依然存在,并且在  $2\theta = 14.5^\circ, 27.8^\circ, 40.1^\circ$  出现了  $B_2O_3$  (P060297) 晶体的特征峰,此时样品激发光谱图的形状发生变化。因为  $NH_4Cl$  的升华温度为 350℃,所以当温度达到 400℃时  $NH_4Cl$  的特征峰消失,只剩下  $B_2O_3$  的晶体峰,此时样品发光性能增强,说明  $NH_4Cl$  对  $B_2O_3-SiO_2$  为基质的发光材料的性能有抑制作用。700℃时  $B_2O_3$  晶体峰消失,样品变成非晶态  $SiO_2$  结构,同时样品的激发光谱图恢复到之前的形状,说明  $B_2O_3$  会使激发光谱图形状产生变化且有利于样品发光性能的提高。

### 2.2.2 红外光谱分析

图 5 为 5 号样品在不同温度下的红外光谱图。常温样品红外光谱中  $1635cm^{-1}$  处的峰为  $H-O-H$  链之间的弯曲振动引起的,与样品中游离水和结构水的存在有关。 $1402cm^{-1}$  处的尖峰是  $NH_4Cl$  的特征峰, $1079cm^{-1}$  和  $459cm^{-1}$  处的峰为  $Si-O-Si$  反对称伸缩振动和弯曲震动引起的峰, $798cm^{-1}$  处为  $Si-O-Si$  弯曲震动峰, $648cm^{-1}$  处为  $B-O$  弯曲震动峰。200℃时  $648cm^{-1}$  处峰消失,说明基质中的硼酸结构遭到破坏。在 300℃时  $648cm^{-1}$  处的  $B-O$  弯曲震动峰又出现,在  $942cm^{-1}$  处出现  $Si-OH$  反对称伸缩振动吸收峰。结合 XRD 谱图说明此时基质中出现  $B_2O_3$ 。400℃时  $1402cm^{-1}$  处的  $NH_4Cl$  特征尖峰消失,并在  $1420cm^{-1}$  处出现  $B-O$  伸缩振动引起的宽峰。500℃处理样品在  $670cm^{-1}$  处多了

一个  $Si-O-B$  的对称伸缩振动,到  $600^\circ C$  时,  $940cm^{-1}$  附近的  $Si-OH$  反对称伸缩振动吸收峰消失,并且在  $925cm^{-1}$  处又产生了一个新  $Si-O-B$  反对称伸缩振动引起的吸收峰<sup>[10]</sup>。这表明在  $500^\circ C$  以上 B 掺杂进了  $SiO_2$  网络,破坏了网络的对称性并减少了基质中的猝灭中心<sup>[11]</sup>,对  $Tb^{3+}$  的发光有利。 $700^\circ C$  以上红外谱图变化较大,  $1420cm^{-1}$  处  $B-O$  的伸缩振动峰以及  $925cm^{-1}$  处  $Si-O-B$  反对称伸缩振动峰消失,说明基质中  $Si-O-B$  键及  $B_2O_3$  结构遭到一定程度的破坏。

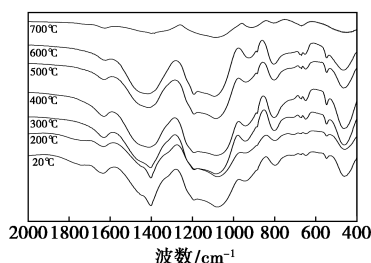


图 5  $B_2O_3-2SiO_2:Tb^{3+}$  (5 号样品)不同温度下的红外光谱图

图 6 为原料在中性(1 号)、酸碱中和(5 号)、碱性(6 号)和酸性(9 号)条件下制备的样品在  $600^\circ C$  退火处理后的红外光谱图。1、5、9 号样品在  $670cm^{-1}$  处出现  $Si-O-B$  的对称伸缩振动峰,在  $925cm^{-1}$  处出现  $Si-O-B$  反对称伸缩振动吸收峰。有  $Si-O-B$  键形成的样品发光性能均有一定程度的提高,这也印证了前文中提出的 B 掺杂进  $SiO_2$  中可提高发光性能的观点。在碱性条件下制备的样品中未发现此类峰,结合制备样品时出现明显沉淀的现象可以推测出在碱性水解条件下,  $SiO_2$  和  $B_2O_3$  由于水解速率的不同各自团聚在一起,这不利于 B 的掺杂。而在生成  $Si-O-B$  键的产物中其发光强度也有区别,说明不同产物中  $Si-O-B$  键的含量也是不同的。

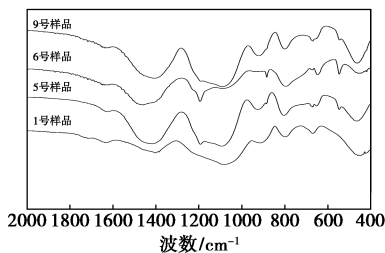
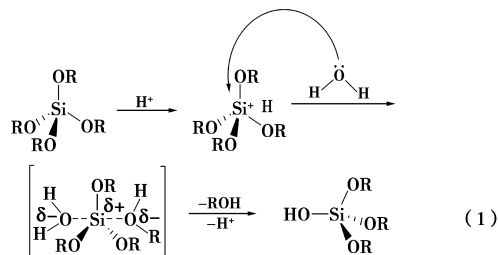


图 6  $B_2O_3-2SiO_2:Tb^{3+}$  不同水解条件下的红外光谱图

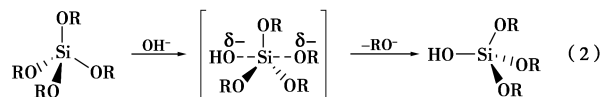
### 2.3 水解机理探究

正硅酸乙酯在中性条件下水解速率很慢,但如果在  $TEOS-H_2O$  体系中加入少量盐酸或氨水,其

反应速率会大大加快。若加入酸,在酸性催化剂下的水解过程是,  $H^+$  首先进攻分子中的一个  $-OR$  基团使之质子化,并造成电子云向  $-OR$  基团偏移,使 Si 原子另一侧的空隙加大并呈亲电子性,  $H_2O$  中的 O 从另一侧进攻 Si 原子更容易<sup>[12-14]</sup>。由于  $-OR$  基团的供电子能力比  $-OH$  基团更强,酸催化反应过程中正电荷过渡状态随水解产物中  $-OH$  基团的增多而变得不稳定,因此,水解反应速率越来越慢。具体过程见式(1)。

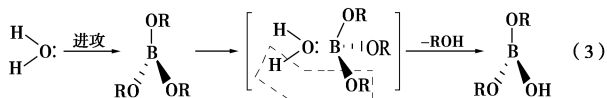


在碱性条件下,由于  $OH^-$  的半径较小,会直接对 Si 原子进行亲核进攻,使 Si 原子带负电,并导致电子云向另一侧的  $-OR$  基团偏移,致使该基团的  $Si-O$  键强度削弱进而断裂。由于碱催化条件下的水解属亲核反应机理,中间过程少,故水解速率很快<sup>[13-14]</sup>。在  $TEOS$  水解初期, Si 原子周围都是  $-OR$  基团,由于空间位阻效应其水解速率较慢。Si 原子在水解过程中会获得一个负电荷,因此当第一个吸电子的  $-OH$  基团成功置换后,不仅位阻效应降低,其诱导作用也能使该负电荷稳定存在,这将大大有利于第 2、第 3、甚至第 4 个  $OH^-$  的进攻,水解速率会越来越快<sup>[14]</sup>。具体过程见式(2)。



由此可以看出,在酸催化下的水解反应第一步容易进行,后面的步骤越来越困难,而碱催化下的水解速率则相反,第一步比较慢,后面的步骤会越来越快。且酸碱催化下的第一步水解产物相同,因此在酸性条件下完成第一步水解后加入碱其整体水解速率会大幅度提高。

硼酸三甲酯相比正硅酸乙酯的水解速率要快很多,硼酸三甲酯易水解的本质是因为硼酸三甲酯中 B 为  $sp^2$  杂化,空余一个 p 轨道。而这个空轨道易受水等带未共用电子对的亲核试剂的进攻形成  $sp^3$  杂化从而使硼酸酯水解。有研究认为其水解反应历程为:首先硼酸酯受水进攻后生成不稳定的四面体络合物,然后脱去醇形成水解产物<sup>[13-14]</sup>,反应机理可用式(3)表示。



水解的最终产物为硼酸,在酸性条件下其水解速率会变慢,而在加入氨水后由于体系中引入了含有未共用电子对的 N 原子,其与 B 原子形成分子内配位键后可以进一步减慢硼酸三甲脂的水解速率<sup>[15-17]</sup>。

正硅酸乙酯、硼酸三甲酯在不同条件下的水解速率不同,导致产物中  $\text{SiO}_2$  和  $\text{B}_2\text{O}_3$  的混合均匀程度也有区别。在酸碱二步催化法下正硅酸乙酯的水解速率会变快,相应的硼酸三甲酯的水解速率会减慢,二者的水解产物混合也更加均匀,有利于 Si—O—B 键的生成以及稀土离子均匀掺入基质,这是 5 号样品发光性能好的原因。

### 3 结论

用溶胶-凝胶法制备了不同水解条件下  $\text{Tb}^{3+}$  掺杂  $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  的发光材料,发现 5 号样品经  $600^\circ\text{C}$  退火处理后的光谱效果最好,样品中  $\text{B}_2\text{O}_3$  的生成使激发光谱蓝移,B 掺杂进  $\text{SiO}_2$  网络中生成了 Si—O—B 键。从酯类水解的角度分析了其中的原因,酸碱二步催化法可以使生成的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{B}_2\text{O}_3$  混合更加均匀,在此条件下有利于 Si—O—B 键的生成从而得到性能优良的绿色发光材料。

### 参考文献

- [1] Ye S, Xiao F, Pan Y X, et al. Phosphors in phosphor-converted white light-emitting diodes: recent advances in materials, techniques and properties[J]. Materials Science and Engineering, 2010, 71: 1-34.
- [2] Yue Yuanzhi, Liang Yan, Wang Hua, et al. Photophysical properties of sol-gel derived luminescent silicone hybrids synthesized via facile amino-ene reaction[J]. Photochemistry and Photobiology, 2013, 89(1): 5-13.

- [3] 赵世华. 稀土发光材料的合成、发光机理及今后展望[J]. 化工新型材料, 2015, 43(1): 213-215.
- [4] Zupanc-Meznar L, Cerc-Korosec R, Bukovec P, et al.  $\text{Eu}^{3+}$ -activated silica prepared by the alkoxide sol-gel method[J]. Journal of Vacuum Science & Technology B Microelectronics & Nanometer Structures, 2000, 18(2): 1097-1100.
- [5] 李晶晶, 王喜贵.  $\text{Tb}^{3+}$  掺杂  $\text{ZnO-3SiO}_2$  发光材料的制备与发光性质[J]. 液晶与显示, 2013, 28(6): 817-822.
- [6] 王晓娟, 王喜贵, 李晶晶, 等.  $\text{Tb}^{3+}$  掺杂复合材料  $\text{LaF}_3$ - $\text{SiO}_2$  的制备和发光性能研究[J]. 稀土, 2012, 33(1): 6-10.
- [7] Seed Ahmed H A A, Ntwaeaborwa O M, Gusowski M A, et al.  $^5\text{D}_3$ - $^7\text{F}_j$  emission of  $\text{Tb}^{3+}$  doped sol-gel silica[J]. Journal of Shellish Research, 2012, 407(10): 1653-1655.
- [8] 朱立刚. 稀土离子掺杂发光玻璃的制备与性能研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [9] 杨志平, 王凤, 郭颖楠, 等. 白光二极管用荧光粉  $\text{LiBaPO}_4$ :  $\text{Tb}^{3+}$  的制备及发光性质[J]. 硅酸盐学报, 2010, 38(6): 1107-1111.
- [10] 王喜贵, 吴红英, 翁诗甫, 等. 掺  $\text{Eu}$  的  $\text{SiO}_2$ - $\text{B}_2\text{O}_3$  体系和  $\text{SiO}_2$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{Na}_2\text{O}$  体系的结构及  $\text{Eu}^{3+}$  的发光性质[J]. 中国稀土学报, 2002, 20: 63-66.
- [11] Wu Hongying, Wang Xigui, Xie Datao, et al. Structure and luminescence properties of Tb-doped Si based light emitting materials in preparation process[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2001, 17(1): 53-58.
- [12] 王喜贵, 赵慧, 张强, 等. 正硅酸乙酯水解过程的研究进展[J]. 内蒙古石油化工, 2001, 27: 17-19.
- [13] Wright J D, Sommerdijk N A J M. Sol-gel materials: chemistry and applications[M]. Gordon and Breach Science Publishers: U Schwarz, 2002, 374-375.
- [14] 余锡宾, 吴虹. 正硅酸乙酯的水解、缩合过程研究[J]. 无机材料学报, 1996, 11(4): 703-707.
- [15] 胡晓兰, 梁国正. 硼酸酯水解稳定性研究与应用[J]. 材料导报, 2002, 16(1): 58-60.
- [16] Capon J. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis wavenumber[J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 57(8): 1408-1418.
- [17] Zhang Lei, Zhang Weijiang, Xu Jiao, et al. Preparation of boric-10 acid applied in nuclear industry[J]. Trans. Tianjin Univ, 2015, 21(2): 172-177.

收稿日期: 2016-10-09

## 2018 年“侯德榜化工科学技术奖”申报启动

2018 年 1 月 3 日, 中国化工学会发布《关于做好第十届“侯德榜化工科学技术奖”申报工作的通知》, 正式启动 2018 年第十届“侯德榜化工科学技术奖”的申报和评选工作。

2018 年侯德榜化工科学技术奖设成就奖 5 名、创新奖 15 名、青年奖 30 名。奖励范围为全国范围内长期工作在教学、科研、生产和工程设计第一线的化工科技工作

者以及对化工科技进步做出重要贡献的其他人员。候选人可通过个人申请或中国化工学会单位会员、专业委员会、各地方化工学会等渠道推荐, 由所在单位审核后申报奖项。2018 年侯德榜化工科学技术奖申报截止时间为 2018 年 6 月 15 日。申报截止后, 将经过规范评审程序, 最终评选出第十届“侯德榜化工科学技术奖”各个奖项获得者。

(化工学会)