综 述

长余辉发光材料研究进展

刘应亮* 丁 红
(暨南大学化学系, 广州 510632)

90 年代发现和发展起来的铝酸盐体系长余辉发光材料是一类重要的新型能源材料和节能材料。本文主要综述了最近几年来铝酸盐体系中长余辉发光材料研究进展。指出了氧化物体系长余辉发光材料的特点和优势,总结了新型长余辉发光材料的基质和激活剂种类、性质及其对稀土离子长余辉发光性能的影响和作用,概括了长余辉发光模型,并提出了今后研究和应用的发展方向。

关键词: 氧化物体系 稀土离子 长余辉发光 机理
分类号: O614.33

60 和 70 年代人们对 Eu^{2+}激活的碱土铝酸盐作为灯用和阴极射线管用发光材料进行了广泛的研究[1~3]。Palilla[2]和 Abbruscato[3]等人观察到 $SrAl_2O_4$: Eu^{2+}的持续发光现象。这一发现使得长余辉发光材料的研究进入了一个新的阶段。进入 90 年代人们研究成功了新一代高效长余辉稀土发光材料,这类材料主要是以稀土离子为激活剂,碱土铝酸盐为基质的无机发光体系,发光强度和余辉时间是传统硫化物发光材料的 10 倍以上。利用长余辉发光材料的储光—发光特性,白天利用太阳光或其他自然光储光,夜晚发光这一特点,使其应用范围可涵盖工农业生产及人们生活的许多方面。这类材料可以进一步作成发光涂料、发光薄膜、发光消防安全标志、发光油墨、发光陶瓷、发光塑料、发光纤维、发光纸等,在建筑装潢、交通运输、军事设施、消防应急、日用消费品等领域得到广泛应用。

本文主要对最近几年来铝酸盐长余辉发光材料的研究进行总结和概括,并对今后的研究和应用做出展望。

1 各种长余辉发光材料性能的比较

表 1 列出了各种长余辉发光材料的性能。由表 1 可见,氧化物体系的余辉时间普遍大于硫化物体系,特别是 $SrAl_2O_4$: Eu, Dy 磷光体具有目前所已知的最长的发光余辉。在硫化物体系中,ZnS: Cu, Co 具有最长的余辉。

同硫化物体系相比,氧化物体系长余辉发光材料具有如下特点:

(1)发光效率高

多铝酸盐发光材料在可见光区具有较高的量子效率。尤其一些灯用发光材料其量子效率

收稿日期:2000-09-22。收修改稿日期: 2000-11-16。
国家自然科学基金(No. 59982003),广东省自然科学基金(No. 990484)和教育部《高等学校骨干教师资助计划》资助项目。
*通讯联系人。
第一作者:刘应亮,男,40 岁,博士,教授;研究方向:无机新材料及应用。

表 1 各种长余辉发光材料的性能比较

Table 1 Properties of Long-Lasting Phosphorescent Materials

composition	color	emission peak wavelength/nm	phosphorescent intensity/(mcd · m^{-2}) after 10min	after 60min	phosphorescent persistence/min
CaS: Eu, Tm	red	650	1.2	—	about 45
CaSrS: Bi	blue	450	5	0.7	about 90
ZnS: Cu	yellow-green	530	45	2	about 200
ZnS: Cu, Co	yellow-green	530	40	5	about 500
$CaAl_2O_4$: Eu, Nd	blue	440	20	6	over 1000
$SrAl_2O_4$: Eu	yellow-green	520	30	6	over 2000
$SrAl_2O_4$: Eu, Dy	yellow-green	520	400	60	over 2000
$Sr4Al_{14}O_{25}$: Eu, Dy	blue-green	490	350	50	over 2000
$SrAl_4O_7$: Eu, Dy	blue-green	480	—	—	about 80
$SrAl_{12}O_{19}$: Eu, Dy	blue-purple	400	—	—	about 140
$BaAl_2O_4$: Eu, Dy	blue-green	496	—	—	about 120

达到了 90% 以上[4,5],充分显示出这类荧光体在电光源及可见光显示领域的应用前景。

(2)余辉时间长

对于硫化物体系,发光余辉一般为 3 ~ 5h。目前在氧化物体系中磷光体余辉最长的是 Eu^{2+} 激活的碱土铝酸盐,其发光亮度达到人眼可辨认水平的时间可达 2000min 以上。研究表明[6~24],Eu^{2+}激活的碱土铝酸盐长余辉发光材料的发光特性与传统的 ZnS 类长余辉发光材料相似,其发光衰减呈指数形式,符合 $I = ct^{-n}(n = 1.10)$ 公式,衰减过程是由一个快过程和一个极慢过程所组成,长余辉的特性就是由这个极慢的过程引起的。

(3)化学性质稳定

由于多铝酸盐氧化物体系特殊的组成和结构,因而这类磷光体能够耐酸耐碱耐候耐辐射,抗氧化性和紫外线强,材料的寿命长,可以长期在空气和一些特殊的环境下使用,同时由于这类材料化学性质稳定,因此还具有荧光猝灭温度高的特点。

(4)没有放射性危害

由于在硫化物体系中要通过添加 Co 等放射性元素提高其发光强度和余辉时间,因而对人体和环境具有危害性,在氧化物体系中不需添加这类元素,因此氧化物体系长余辉发光材料对人体和环境十分安全。

2 铝酸盐长余辉发光材料研究进展

2.1 基质组成、结构和形态

目前大量研究和报导的长余辉发光材料是 Eu^{2+}激活的碱土铝酸盐系列。这类化合物属于鳞石英结构。但对于不同的基质其晶体结构存在显著差别,我们的研究表明[24],对于碱土铝酸盐体系,由于晶体结构和晶胞参数不同,Eu^{2+}的光谱和余辉性质各不相同,Eu^{2+}发射波长 $SrAl_2O_4$: Eu^{2+}> $BaAl_2O_4$: Eu^{2+}> $CaAl_2O_4$: Eu^{2+},余辉强度和余辉时间 $SrAl_2O_4$: Eu^{2+}> $CaAl_2O_4$: Eu^{2+}> $BaAl_2O_4$: Eu^{2+}。

目前除了 Eu^{2+}激活的碱土铝酸盐基质的多晶粉末[6, 13~17, 20~25]研究最多之外,还研究和报导了一些稀土离子激活的碱土铝酸盐类单晶[7,9~12,26,27]、单晶纤维[12]、玻璃[18,28~34]、薄膜[8]和陶瓷[19]等,这些形态的材料也具有长余辉发光的特性。单晶同粉末相比较,其光谱是相同的,但

余辉有所变化。例如 $SrAl_2O_4$: Eu^{2+}单晶余辉时间变短,而对于 $CaAl_2O_4$: Eu^{2+}单晶,余辉时间与粉末状的相同,这是因为共掺杂的辅助激活剂的浓度发生了不同的变化[11]。薄膜态长余辉发光材料的余辉时间大大缩短,例如对于 $SrAl_2O_4$: Eu^{2+}晶态薄膜其余辉时间由粉末状的数十个小时缩短到约 2 个小时[8]。Sakai 等人[9]报导了在 $BaAl_2O_4$: Eu^{2+}单晶中,基质组成对材料的余辉强度和余辉时间产生重要的影响和作用,例如基质组成富钡,晶体没有余辉,如果组成按化学计量比或铝过量,余辉可以持续 2 个小时以上,并且陷阱的深度和陷阱能级密度也与基质的组成密切相关。材料的形态不同,热释发光也有变化,例如 $SrAl_2O_4$: Eu^{2+}粉末态热释发光峰 348K[6],薄膜态有 200K 和 350K 两个峰[8],单晶态有 280K、310K 和 370K 三个峰[7],多个热释发光峰的出现与基质中存在的多个陷阱中心有关。

目前研究和报导的玻璃态长余辉发光材料包括碱土硅铝酸盐[18, 28, 32, 33]、碱土硼铝酸盐[34]以及硼硅酸锌[30]等。例如,Eu^{2+}、Ce^{3+}、Pr^{3+}和 Tb^{3+}等二价和三价稀土离子激活的组成为 $40SrO \cdot 30Al_2O_3 \cdot 30SiO_2$[28, 33]的玻璃,$Eu^{2+}$激活的组成为 $43CaO \cdot 13Al_2O_3 \cdot 44SiO_2$[32]和组成为 $40CaO \cdot 30Al_2O_3 \cdot 30B_2O_3$[34]的玻璃,$Tb^{3+}$激活的组成为 $59CaO \cdot 27Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 7MgO$[29, 31]和组成为 $60ZnO \cdot 20B_2O_3 \cdot 20SiO_2$[30]的玻璃等。玻璃具有均匀、透明和容易加工等特点,因此玻璃态长余辉发光材料可以开拓更加广阔的新的应用领域,例如在作为储能显示材料和太阳能光电转换材料等方面具有巨大的应用前景。

2.2　激活离子种类和性质

目前研究和报导能产生长余辉发光特性的激活离子主要为 Eu^{2+},此外 Ce^{3+},Tb^{3+},Pr^{3+},Mn^{2+}[25~31]等离子也存在长余辉发光现象。

Eu^{2+}在碱土铝酸盐体系中主要表现为 $d \rightarrow f$ 宽带跃迁发射,因而发射波长随基质组成和结构的变化而变化,发射波长主要集中在蓝绿光波段。由于 Eu^{2+}在紫外到可见区比较宽的波段内具有较强的吸收能力,所以 Eu^{2+}激活的材料在太阳光、日光灯或白炽灯等光源的激发下就可产生由蓝到绿的长余辉发光。

相对其他三价稀土离子,Ce^{3+}、Tb^{3+}和 Pr^{3+}离子的 $5d \rightarrow 4f$ 跃迁能量较低,而且这三种离子容易形成 +4 氧化态。它们的余辉发光需用 254nm、365nm 紫外光或飞秒激光进行激发。用 254nm 或 365nm 紫外光激发,一般余辉时间较短,大约 1 ~ 2 小时[26, 28~31],如用飞秒激光诱导激发,其余辉甚至可达 10 小时以上[27]。

Mn^{2+}是迄今在氧化物体系中具有余辉现象的唯一过渡金属离子,在基质中一般表现为绿色发射,也可观察到红色发射,或者可同时观察到绿色和红色发射。Uheda 等人[25]报导在 $ZnGa_2O_4$ 基质中 Mn^{2+}产生 503.6nm 的长余辉发光,这是由于基质中存在的 Zn^{2+}离子空位所致。

必须指出的是,当激活离子为 Eu^{2+}时需要添加所谓的辅助激活剂(auxiliary activator)。辅助激活剂在基质中本身不发光或存在微弱的发光,但可以对 Eu^{2+}的发光强度特别是余辉寿命产生极其重要的影响,90 年代在氧化物体系中发现的 Eu^{2+}的特长余辉发光材料正是由于辅助激活剂起了关键作用。现在发现的一些有效的辅助激活剂主要是 Dy^{3+}、Nd^{3+}、Ho^{3+}、Er^{3+}、Pr^{3+}及 Y^{3+}和 La^{3+}等稀土离子和 Mg^{2+}、Zn^{2+}等非稀土离子。这些辅助激活剂在基质中成为捕获电子或空穴的陷阱能级,电子和空穴的捕获、迁移及复合对材料的长余辉发光产生至关重要的作用。

一般而言,作为产生长余辉发光的激活离子主要是那些具有相对较低的 $4f \rightarrow 5d$ 跃迁能

量或具有很高的电荷迁移带能量的稀土和非稀土离子，如 Eu^{2+}, Tm^{2+}, Yb^{2+}, Ce^{3+}, Pr^{3+}, Tb^{3+}, Mn^{2+}等；对于低价态激活离子一般需要添加辅助激活剂，辅助激活剂一般是那些能转换为较稳定的 +4 氧化态的离子，如 Dy^{3+}, Pr^{3+}, Nd^{3+}等，或具有较复杂的能级结构的离子，如 Ho^{3+}, Er^{3+}等，或虽然没有能级跃迁但具有较适合的离子半径和电荷的离子，如 Y^{3+}, La^{3+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}等；同时还要求基质中存在的陷阱深度要合适，以及具有合适的禁带宽度。

3 铝酸盐长余辉发光材料的发光机理

对以 Eu^{2+}激活的碱土铝酸盐为代表的新型长余辉发光材料发光机理的研究从 90 年代至今一直是人们研究的热点。我们曾提出 Eu^{2+}发光的余辉及其亮度与共掺杂稀土离子的半径大小、电荷高低、能级结构和价态变化密切相关[24]。

3.1 Eu^{2+}的长余辉发光机理

已经知道，Eu^{2+}在通常情况下产生 $4f^6 5d \rightarrow 4f^7$ 容许的电偶极宽带跃迁，其寿命一般在 $10^{-8} \sim 10^{-5}$ 秒之间。90 年代在碱土铝酸盐中发现 Eu^{2+}的异常长余辉现象，引起了人们对其余辉发光机理研究的极大兴趣，人们提出了不同的余辉发光机理。

3.3.1 空穴转移模型

根据文献[6~13]对 Eu^{2+}余辉发光机理的讨论，我们总结为“空穴转移模型”。Matsuzawa 等人[6]认为，在 $SrAl_2O_4$ 磷光体中，当用 365 nm 紫外光激发时，Eu^{2+}产生 $4f \rightarrow 5d$ 跃迁。光电导测量表明，在 $4f$ 基态产生的空穴通过热能释放到价带，与此同时假设 Eu^{2+}转换成 Eu^{1+}，产生的空穴通过价带迁移，被 Dy^{3+}俘获，Dy^{3+}转变为 Dy^{4+}。当紫外激发停止后，由于热激发，被 Dy^{3+}俘获的空穴又释放到价带，空穴在价带中迁移至激发态的 Eu^{1+}附近并被 Eu^{1+}俘获，这样电子和空穴进行复合，于是产生了长余辉发光。这个过程如图 1 所示。Jia 等人[12]指出对于捕获的空穴脱离陷阱的过程，经历 3 个阶段：(a) 被捕获的空穴由热激活通过 Dy^{4+}释放到价带；(b) 空穴在价带中迁移；(c) 空穴与 Eu^{1+}复合。因此，Eu^{2+}的长余辉发光实际上就是空穴的产生、转移和复合的过程。

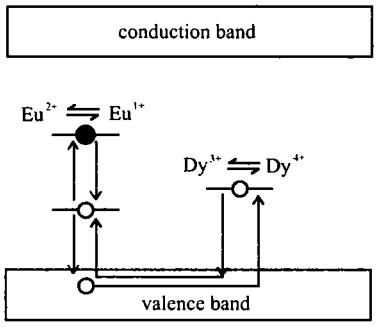

图 1 空穴转移模型

Fig. 1 Hole-transfer mechanism

3.3.2 位型坐标模型

按照“空穴转移模型”，Dy^{3+}、Nd^{3+}等三价稀土离子作为空穴陷阱，Eu^{2+}作为电子陷阱，并且这些陷阱具有合适的深度，因此由 Dy^{3+}、Nd^{3+}等离子俘获的空穴在室温下就能以合适的速度释放出来，从而产生高亮度特长余辉发光。然而，至今没有证据证明，在基质中存在 Eu^{1+}和 Dy^{4+}、Nd^{4+}等异常价态的稀土离子。吸收光谱证实，在 Eu^{2+}和 Dy^{3+}、Nd^{3+}等稀土离子共掺杂的碱土铝酸盐中，X 射线和激光辐照前后 Eu 离子和 Dy、Nd 等离子的吸收光谱没有差别，这些掺杂离子的价态也没有发生变化[32~34]。这表明，Eu^{2+}和 Dy^{3+}、Nd^{3+}等稀土离子并没有直接成为空穴和电子的陷阱。由此，我们结合 Qiu[32~34]和苏锵[16]等人的工作，概括出 Eu^{2+}长余辉发光的所谓“位型坐标模型”。图 2 是位型坐标示意图。A 与 B 分别为 Eu^{2+}的基态和激发态能级，位于 A 与 B 之间的 C 能级为陷阱能级。陷阱能级 C 可以是掺入的杂质离子如一些三价稀土离子引

起[16],也可以是基质中的一些其他缺陷如氧空位所产生[34]。Qiu 等人[32~34]认为 C 可以捕获电子或空穴,长余辉发光就是被捕获在陷阱能级 C 中的电子或空穴在热激活下与空穴或电子复合而产生;苏锵等人[16]认为 C 仅捕获电子,当电子受激发从基态到激发态后,一部分电子跃迁回低能级发光,另一部分电子通过驰豫过程储存在陷阱能级 C 中,当 C 中的电子吸收能量时,重新受激发回到激发态能级 B,跃迁回基态而发光,长余辉时间的长短与储存在陷阱能级 C 中的电子数量及吸收的能量(热能)有关。

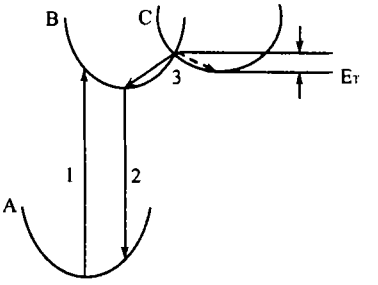

图 2　位型坐标模型

Fig. 2　Configuration coordinate model

3.2　Ce^{3+}、Pr^{3+}、Tb^{3+}等三价稀土离子长余辉发光机理

3.2.1　能量传递模型[26~28]

对于 Ce^{3+}、Pr^{3+}、Tb^{3+}三价稀土离子,容易形成 +4 氧化态,因此在晶体或玻璃体系中三种元素可以分别以 +3 和 +4 两种氧化态在体系中共存,这样,RE^{3+}可以作为空穴陷阱中心,RE^{4+}能够成为电子陷阱中心,这些被缺陷中心所捕获的空穴和电子在热扰动下进行复合,释放出的能量传递给三价稀土离子,激发其基态电子到激发态,最终导致三价稀土离子的特征长余辉发光。

但在还原气氛中,这些稀土离子的 +4 氧化态是不易形成的,这时样品在紫外光或激光激发下,产生电子和空穴,并可分别被不同的缺陷所捕获。激发停止后,缺陷中的电子和空穴复合产生的能量传递给稀土离子。由于 Ce^{3+}、Pr^{3+}、Tb^{3+}相对其他稀土离子来说具有较低的 $5d \rightarrow 4f$ 跃迁能量,因此电子和空穴复合释放出的能量与 Ce^{3+}、Pr^{3+}、Tb^{3+}离子的相应能级匹配,又由于电子和空穴陷阱的深度比较合适,所以在室温下就可以观察到这些离子的长余辉发光。需要指出的是,以碱土离子作为组分的晶体和玻璃体系中,氧离子空位起了至关重要的作用,因为氧离子空位可以捕获电子成为电子陷阱,至于空穴陷阱可以是体系中存在的 Al^{3+}离子空位或其他缺陷甚至是 Ce^{3+}等稀土离子。这些体系中氧离子空位的存在已经被电子顺磁共振波谱(EPR)所证实。

这种缺陷与稀土离子之间的能量传递过程我们称之为"能量传递模型"。

3.2.2　电子转移模型[29~31]

与 3.1 中总结的空穴转移模型相反,在 Tb^{3+}等稀土离子激活的晶体或玻璃体系中,电子转移对其长余辉发光起了关键作用,即在紫外光作用下,一部分 Tb^{3+}被光氧化为 $(Tb^{3+})^{+}$,释放的电子由氧离子空位捕获,在热扰动下,电子再从氧离子空位中释放出来与光电离的 $(Tb^{3+})^{+}$复合产生特征的长余辉发光。这一模型如图 3 所示[31]。余辉发光过程表示如下[29]:当紫外光照射时,

$$Tb^{3+} + UV \rightarrow (Tb^{3+})^{+} + e^{*}$$

$$e^{*} + \text{氧离子空位} \rightarrow F^{+}\text{心}$$

当紫外光停止照射后,

$$F^{+}\text{心} + \text{声子} \rightarrow \text{氧离子空位} + e^{*}$$

$$e^{*} + (Tb^{3+})^{+} \rightarrow Tb^{3+} + {}^{5}D_{i} \rightarrow {}^{7}F_{j}\ \text{跃迁发射}$$

$(Tb^{3+})^{+}$表示被光氧化的 Tb^{3+},以示与一般的 Tb^{4+}的区别,e^{*}表示激发态电子。

关于 Mn^{2+} 的长余辉发光机理，与上述的 Eu^{2+} 的空穴转移模型类似，在 $ZnGa_2O_4$ 中存 Zn^{2+} 离子空位捕获的空穴转移到 Mn^{2+} 与电子复合产生余辉发光[25]。

4 新型长余辉发光材料研究和应用展望

90 年代在铝酸盐体系中发现的以 Eu^{2+} 为代表的稀土离子的特长余辉发光现象是长余辉发光材料研究历史上的一次飞跃。目前对于 Eu^{2+} 激活的碱土铝酸盐长余辉发光材料的研究仍然十分活跃，其材料及相关的发光品种已经工业化和商品化。尽管如此，对于新型长余辉发光材料的研究和应用还存在以下主要问题。

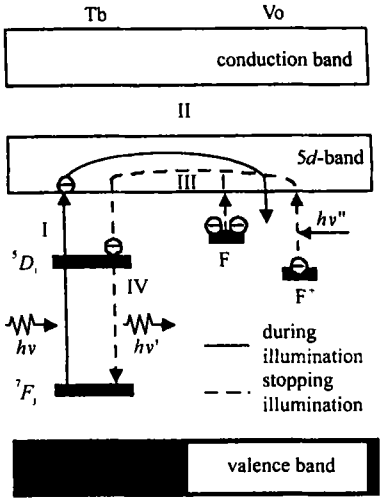

图 3 电子转移模型

Fig. 3 Electron-transfer mechanism

(1) 发光颜色主要是绿色，在氧化物体系中缺乏蓝色，特别是缺乏红色发光品种。

(2) 发光机理尚不十分清楚，有待继续深入研究。目前用做辅助激活剂的主要是稀土离子，对于非稀土离子对 Eu^{2+} 和其他稀土离子长余辉发光的影响和作用研究甚少。

(3) 发光激活离子主要是 Eu^{2+}，对其他一些稀土离子特别是重稀土离子和过渡金属离子的研究很少。

(4) 长余辉发光材料的应用范围较窄，主要是用作夜光材料。这类新型长余辉发光材料有可能应用于储能显示材料、太阳能光电转换材料、光电子信息材料等方面。

深入开展新型长余辉发光材料的基础研究和应用研究具有非常重要的理论意义和实际价值。

参 考 文 献

[1] Blasse G., Bril A. *Philips Research Reports*, **1968, 23**, 201.
[2] Palilla F. C., Levine A. K., Tomkus M. R. *J. Electrochem. Soc.*, **1968, 115**, 642.
[3] Abbruscato V. *J. Electrochem. Soc.*, **1971, 118**, 930.
[4] Smets B., Rutten J., Hoels G. et al *J. Electrochem. Soc.*, **1989, 136**, 2119.
[5] Welker T. *J. Electrochem. Soc.*, **1991, 48 ~ 49**, 49.
[6] Matsuzawa T., Aoki Y., Takeuchi N. et al *J. Electrochem. Soc.*, **1996, 143**, 2670.
[7] Jia W., Yuan H., Lu L. et al *J. Crystal Growth*, **1999, 200**, 179.
[8] Kato K., Tsutai I., Kamimura T. et al *J. Luminesecne*, **1999, 82**, 213.
[9] Sakai R., Katsumata T., Komuro S. et al *J. Luminescence*, **1999, 85**, 149.
[10] Katsumata T., Sakai R., Komuro S. et al *J. Crystal Growth*, **1999, 198 ~ 199**, 869.
[11] Katsumata T., Nabae T., Sasajima K. et al *J. Crystal Growth*, **1998, 183**, 361.
[12] Jia W., Yuan H., Lu L. et al *J. Luminescence*, **1998, 76 ~ 77**, 424.
[13] Katsumata T., Sasajima K., Nabae T. et al *J. Am. Ceram. Soc.*, **1998, 81**, 413.
[14] SONG Qing-Mei (宋庆梅), CHEN Ji-Yao (陈暨耀), WU Zhong-Ya (吴中亚) *Fudan Xuebao* (*J. Fudan University*), **1995, 34**, 103.
[15] TANG Ming-Dao (唐明道), LI Chang-Kuan (李长宽), GAO Zhi-Wu (高志武) *Faguang Xuebao* (*Chinese J. Lumin.*), **1995, 16**, 51.

[16]ZHANG Tian-Zhi(张天之), SU Qiang(苏　锵), WANG Shu-Bin(王淑彬) *Faguang Xuebao*(*Chinese J. Lumin.*), **1999**, **20**, 170.
[17]WANG Dong(王　东), WANG Min-Quan (王民权) *Cailiao Kexue Yu Gongcheng*(*Science and Engineering of Materials*), **1998**, **16**, 40.
[18]LIN Yuan-Hua(林元华), ZHANG Zhong-Tai(张中太), CHEN Qing-Ming(陈清明) *Cailiao Kexue Yu Gongyi* (*Science and Technics of Materials*), **2000**, **8**, 1.
[19]ZHANG Zhong-Tai(张中太), ZHANG Feng(张　枫), TANG Zi-Long(唐子龙) *Dongneng Cailiao*(*Function Materials*), **1999**, **30**, 295.
[20]LIN Yuan-Hua (林元华), ZHANG Zhong-Tai (张中太), ZHANG Feng (张　枫) *Cailiao Daobao*(*Materials Review*), **2000**, **14**, 35.
[21]Takasaki H., Tanabe S., Hanada T. *J. Ceramic Society of Japan*, **1996**, **104**, 322.
[22]Yamamoto H., Matsuzawa T. *J. Luminescence*, **1997**, **72 ~ 74**, 287.
[23]YING Liang-Liu, DE Xiong-Feng, PEI Hui-Yang *Chinese Chemical Letters*, **1999**, **10**, 709.
[24]LIU Ying-Liang(刘应亮), FENG De-Xiong(冯德雄), YANG Pei-Hui(杨培慧) *Zhongguo Xitu Xuebao*(*J. Chinese Rare Earth Society*), **1999**, **17**, 462.
[25]Uheda S., Maruyama T., Takizawa H. et al *J. Alloys and Compounds*, **1997**, **262 ~ 263**, 60.
[26]Kodama N., Takahashi T., Yamaga M. et al *Applied Physics Letters*, **1999**, **75**, 1715.
[27]Qiu J., Kodama N., Yamaga M. et al *Applied Optics*, **1999**, **38**, 7202.
[28]Qiu J., Miura K., Inouye H. et al *Applied Physics Letters*, **1998**, **73**, 1763.
[29]Hosono H., Kinoshita T., Kawazoe H. et al *J. Phys. Condens Mater.*, **1998**, **10**, 9541.
[30]Yamazaki M., Yamamoto Y., Nagahama S. et al *J. Non-Crystalline Solids*, **1998**, **241**, 71.
[31]Kinoshita T., Yamazaki M., Kawazoe H. et al *J. Applied Physics*, **1999**, **86**, 3729.
[32]Qiu J., Miura K., Inouye H. et al *J. Non-Crystallin Solids*, **1999**, **244**, 185.
[33]Qiu J., Kawasaki M., Tanaka K. et al *J. Phys. Chem. Solids*, **1998**, **59**, 1521.
[34]Qiu J., Hirao K. *Solid State Communications*, **1998**, **106**, 795.

Research Developments of Long Lasting Phosphorescent Materials

LIU Ying-Liang　DING Hong
(*Department of Chemistry, Jinan University, Guangzhou* 510632)

The long lasting phosphorescent materials composing of alkaline earth aluminates, which were found in 1990s, are a kind of important energy power and saving energy materials. Due to potential widespread application as night display materials and unique advantages in safety and environmental protection and stabilization over the precursors, such as, zinc sulfide and alkaline earth sulfides, research on the materials has attracted much interest. Recent developments on the long lasting phosphorescent materials are reviewed in present paper. The characteristics and advantages of the long lasting phosphorescent materials with oxide composition are pointed out. The kinds and natures of hosts and activators which compose the long lasting phosphorescence materials and their effect on the phosphorescnt properties are summarized. The mechanism or model of the long lasting phosphorescence is generalized. Future development aspects of researchs and applications about the materials are proposed.

Keywords:　**oxide systems**　**rare earth ions**　**long lasting phosphorescence**　**mechanism**