

蓄光型发光材料及其制品

第二版

肖志国 罗昔贤 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

蓄光型发光材料及其制品/ 肖志国, 罗昔贤编著. —2
版. —北京: 化学工业出版社, 2005. 3

ISBN 7-5025-6711-9

. 蓄... . 肖... 罗... . 永久发光材料-
研究 . TB39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 014627 号

蓄光型发光材料及其制品
第二版

肖志国 罗昔贤 编著

责任编辑: 宋向雁 邢 涛

责任校对: 陈 静 周梦华

封面设计: 潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850mm × 1168mm 1/ 32 印张 11 彩插 9 字数 315 千字

2005 年 4 月第 2 版 2005 年 4 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5025-6711-9 TB · 121

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书介绍了发光学的基本概念和基础性知识；对各类型蓄光型发光材料的制备工艺、发光性能和应用特性、发光机理等均作了较全面系统的论述，专章讨论了蓄光型发光制品的种类及相应生产工艺；对各种蓄光型发光制品在防灾和消防安全标志、工业生产、仪器仪表、军事设施以及人民生活等方面的实际应用也一一做了详细的介绍。本书对发光材料生产及制品的制作有指导性作用。

本书还特别关注近年来国内外蓄光型发光材料的研究、开发上所取得的新进展，内容具有先进性，适合有关科研人员参考和阅读。

目 录

绪论	1
主要参考文献	8
第 1 章 发光性能和应用特性	9
1.1 发光性能	9
1.1.1 吸收光谱	9
1.1.2 激发光谱	10
1.1.3 发射光谱	10
1.1.4 发光衰减	11
1.1.5 发光效率	13
1.1.6 发光亮度	14
1.1.7 热释光曲线和热激光电导	14
1.2 应用特性	19
1.2.1 颗粒特性	19
1.2.2 紫外线辐照稳定性	21
1.2.3 耐水性	22
1.2.4 温度特性	22
1.2.5 化学稳定性	22
主要参考文献	23
第 2 章 传统三基色蓄光型发光材料	24
2.1 硫化锌系列蓄光型发光材料	24
2.1.1 硫化锌型发光材料的发展历史	24
2.1.2 硫化锌系发光材料的基本物理性质	25
2.1.3 ZnS 材料的制备	28
2.1.4 激发光谱和发射光谱	33
2.1.5 发光余辉	37
2.1.6 余辉亮度	39
2.1.7 热释光曲线	40

2.1.8	应用特性	40
2.1.9	ZnS Eu^{2+} 的发光性能	42
2.1.10	发光和蓄光机理	44
2.2	硫化钙铋系列蓄光发光材料	45
2.2.1	碱土硫化物型发光材料的发展历史	45
2.2.2	碱土硫化物型发光材料的基本物理性质	45
2.2.3	碱土金属硫化物材料的制备	47
2.2.4	CaS Bi 系列蓝色蓄光型发光材料的发光性能	51
2.3	CaS Eu 系列红色蓄光型发光材料的发光性能	65
2.3.1	稀土离子 (Eu^{2+}) 的 4f-4f5d 能级	66
2.3.2	CaS Eu	68
2.3.3	CaS Eu^{2+} , Tm^{3+}	82
2.3.4	碱土金属硫化物基质中的多中心掺杂	83
2.4	微波合成法	88
	主要参考文献	92
第3章	铝酸盐体系蓄光型发光材料	99
3.1	铝酸盐体系蓄光型发光材料的发展历史	99
3.2	铝酸盐体系蓄光型发光材料的物理特性	101
3.3	材料的组成和制备	106
3.3.1	基质组分的配比	106
3.3.2	激活剂的浓度、种类	107
3.3.3	助熔剂的影响	108
3.4	合成方法	109
3.4.1	高温固相法	109
3.4.2	其他合成方法	111
3.5	生产工艺控制	120
3.5.1	工艺流程	120
3.5.2	合成发光材料的反应历程	121
3.5.3	原料纯度对产品性能的影响	127
3.5.4	装料量及恒温时间对发光性能的影响	128
3.5.5	还原条件对发光性能的影响	129
3.5.6	降温条件的影响	129
3.5.7	烧结工艺的影响	130
3.5.8	显微结构	133

3.6 发光性能和应用特性	134
3.6.1 激发光谱	134
3.6.2 发射光谱	137
3.6.3 余辉特性	146
3.6.4 热释光曲线和热激发电流	150
3.6.5 助熔剂对发光特性的影响	152
3.6.6 颗粒特性	172
3.6.7 紫外辐照稳定性	173
3.6.8 耐水性	174
3.6.9 温度特性	177
3.6.10 涂层特性	179
3.7 蓄光和发光机理	179
3.7.1 稀土离子的发光	179
3.7.2 Eu^{2+} 的长余辉发光机理	183
3.7.3 空穴转移模型	184
3.7.4 位型坐标模型	185
3.7.5 新的余辉机理	186
主要参考文献	189
第4章 硅酸盐体系蓄光发光材料	197
4.1 二元硅酸盐体系	198
4.2 三元硅酸盐体系	201
4.2.1 焦硅酸盐化合物的基本物理性质	203
4.2.2 镁硅钙石化合物的基本物理性质	203
4.2.3 焦硅酸盐和镁硅钙石化合物的制备方法	203
4.2.4 焦硅酸盐化合物的发光性能	204
4.2.5 镁硅钙石化合物的发光性能	213
4.3 蓄光发光机理	216
4.4 硅酸盐体系蓄光材料的应用特性	216
主要参考文献	219
第5章 三基色蓄光发光材料	221
5.1 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}:\text{Eu}, \text{Ln}$ 蓄光型发光材料	221
5.1.1 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}:\text{Eu}, \text{Ln}$ 蓄光型发光材料的物理性质	221
5.1.2 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}:\text{Eu}, \text{Ln}$ 蓄光型发光材料的制备	222
5.1.3 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}:\text{Eu}, \text{Ln}$ 蓄光型发光材料的发光性能	223

5.1.4	$\text{Y}_2\text{O}_2\text{S} \cdot \text{Eu, Ln}$ 蓄光型发光材料的应用特性	228
5.1.5	稀土硫氧化物体系蓄光型发光材料的其他研究	229
5.2	蓄光型发光材料的研究进展	234
5.2.1	Ce^{3+} 作激活剂的长余辉发光	234
5.2.2	Pr^{3+} 作激活剂的长余辉发光	241
5.2.3	Mn^{2+} 作激活剂的长余辉发光	241
5.3	三基色蓄光发光材料	247
	主要参考文献	249
第6章	有机蓄光发光制品	251
6.1	发光膜	251
6.1.1	发光膜各层的组成成分	252
6.1.2	发光膜的制备方法	253
6.1.3	各种发光膜性能的比较	255
6.2	发光板	256
6.2.1	发光板各层的组成成分	256
6.2.2	发光板的制作方法	257
6.2.3	发光板的发光性能和应用特性	258
6.3	发光塑料	259
6.3.1	直接加入法	259
6.3.2	塑料发光母料法	260
6.4	发光纤维	263
6.4.1	光纤维的原材料	263
6.4.2	发光纤维的生产工艺	263
6.4.3	生产发光纤维应注意的问题	264
6.5	发光涂料	264
6.5.1	树脂及清漆	265
6.5.2	蓄光发光材料	265
6.5.3	助剂的选择	265
6.5.4	发光颜料的用量	265
6.5.5	发光涂料制作工艺	265
6.5.6	发光涂料的几种配方举例	266
6.5.7	发光涂料的正确使用方法及使用时应注意事项	267
6.6	发光油墨	267
6.6.1	发光油墨使用过程中应注意的问题	268

6.6.2	应用发光油墨进行丝网印刷的实例	268
6.7	发光水性涂料	268
6.7.1	水性涂料的组成	269
6.7.2	水性涂料制备方法	269
6.7.3	发光水性涂料应用的效果	270
6.8	发光印花浆	270
6.8.1	发光印浆调制方法	270
6.8.2	发光印花浆的使用方法	270
6.8.3	应用发光印花浆应注意事项	271
6.9	发光主体雕刻	271
6.9.1	模具浇铸法	271
6.9.2	雕刻	272
6.10	发光大理石	272
6.10.1	发光大理石的主要原材料	273
6.10.2	发光大理石生产工艺流程	273
6.10.3	制作发光大理石应注意事项	273
6.11	发光热转印纸	274
6.11.1	发光热转印纸的特点	274
6.11.2	产品结构	274
6.11.3	主要原材料	275
6.11.4	发光热转印纸生产工艺流程	275
6.11.5	产品使用方法	275
6.11.6	产品的使用范围	275
6.11.7	产品使用时注意事项	276
6.12	发光水转印标志	276
6.12.1	产品的结构	276
6.12.2	产品的使用方法	277
6.12.3	产品使用范围	277
6.12.4	产品使用时注意事项	277
6.13	发光反光膜	277
6.13.1	发光反光膜的组成成分	277
6.13.2	发光反光膜的制作工艺	278
6.13.3	发光反光膜的性能和应用特性	278
	主要参考文献	279

第 7 章 无机蓄光发光制品	281
7.1 发光陶瓷	281
7.1.1 发光陶瓷釉的发展	282
7.1.2 发光陶瓷釉的制备过程	282
7.1.3 发光陶瓷釉的发光原理及分类	285
7.1.4 发光陶瓷的特性和应用领域	294
7.2 发光玻璃	296
7.2.1 发光玻璃的分类及发光原理	297
7.2.2 发光玻璃的制备过程	298
7.2.3 发光玻璃的组成及性质	299
主要参考文献	305
第 8 章 蓄光发光材料及制品的应用	309
8.1 消防安全领域	309
8.1.1 蓄光型自发光疏散指示标志系统的应用	309
8.1.2 消防设施、器材上的应用	313
8.2 建筑装饰装潢领域	313
8.2.1 发光装饰膜板	313
8.2.2 发光陶瓷制品	314
8.2.3 发光涂料	314
8.2.4 发光开关	314
8.2.5 发光地毯、挂毯	315
8.3 铁路、船舶、航空、公路等交通运输领域	315
8.3.1 船舶	315
8.3.2 铁路	316
8.3.3 公路	316
8.3.4 航空	316
8.4 城乡建设领域	316
8.4.1 城乡地名标牌	316
8.4.2 公共信息标志	317
8.4.3 防护标志、标识	318
8.5 电力系统、矿山系统、工业设备、仪器仪表、钟表行业领域	318
8.5.1 电力系统	318
8.5.2 矿山系统	319
8.5.3 工业设备	319

8.5.4 仪器仪表、钟表的表盘	320
8.6 服装、鞋帽、服饰领域	320
8.6.1 服装领域	321
8.6.2 服饰领域	321
8.7 塑料、橡胶领域	322
8.8 工艺品、家居用品、玩具、体育休闲用品	322
8.8.1 发光工艺品	322
8.8.2 家居用品	324
8.8.3 发光玩具	325
8.8.4 体育休闲用品	325
主要参考文献	325
第9章 主要发光性能和应用特性的测试	327
9.1 发光材料的激发光源	327
9.2 吸收光谱的测量	329
9.3 激发光谱和发光光谱的测量	329
9.3.1 激发光谱的测试方法	330
9.3.2 发射光谱的测试方法	330
9.4 余辉发光亮度和余辉发光时间的测量	334
9.5 发光效率的测量	343
9.6 热释光曲线的测量	346
9.7 颗粒特性的测量	346
9.8 紫外辐照稳定性的测量	349
9.9 温度特性的测量	349
主要参考文献	349

绪 论

发光过程是物质将某种方式吸收的能量转化为光辐射的过程，是热辐射之外的另一种辐射，并且这种辐射的持续时间要大于光的振动周期。发光的这一定义包括两部分内容：

(1) 发光不同于灼热物体所产生的光辐射（如白炽灯光、太阳光等），发光时不伴随热；

(2) 发光不同于光的反射、散射等，光的反射、散射无持续时间，而发光在激发停止后仍持续一段时间。

要确定某一种材料是否发光并没有明显的界限，一般激发条件下不发光的材料在非常强的能量激发下也有微弱的发光。有些材料需要提高纯度，发光才能变强，有些材料需要掺入一定量的激活剂才能有更强的发光。自然界中存在大量的天然或合成的被视为人间珍宝的发光物质。如早在公元 450 年我国《后汉书》中提到的所谓“发光壁”，我国民间流传的“夜明珠”以及叙利亚的“孔雀暖玉”和印度的“蛇眼石”等宝石。这种材料具有奇异的发光性能，能在无光环境中放出各种色泽的晶莹光辉。在各种形式能量激发下能发光的物质叫做发光材料（或荧光粉）。按照激发能量方式的不同，发光材料的分类为：

紫外光、可见光以及红外光激发而发光的光致发光材料，光致发光材料按其发光性能、应用范围的不同，又分为长余辉发光材料、灯用发光材料和多光子发光材料；

电子束流激发而发光的阴极射线发光材料；

电场激发而发光的电致发光材料；

两种或两种以上的化学物质之间的化学反应而引起发光的化学

发光材料；

X 射线辐照而发光的 X 射线发光材料；

用天然或人造放射性物质辐照而发光的放射性发光材料。

有些阴极射线用荧光粉，如雷达用荧光粉，在阴极射线停止后也有较长的余辉发光，这类材料有硫化物、部分氟化物等，余辉时间大于 1s，甚至长达 30s。

曾在发光钟表、发光仪表及各种数字符号等方面有过重要作用的永久发光材料就是放射性发光材料，它是在发光材料如 $\text{ZnS}:\text{Cu}$ 中加入放射性物质，在放射线激发下，具有持续发光的性能，这类材料也称之为夜光材料。1938 年人们开始采用天然放射性物质如镭、钷等作为激发源，这类材料对人体危害很大。二次大战后，随着原子能的和平利用，各种人造放射性物质应运而生，开始研究镭的替代物。1960 年左右发展和改进为纯 β 辐射体：钷和钷，元素钷比镭能获得更高的发光辉度，对人体危害、环境污染已大大减轻。但每个国家对放射性物质有着严格的安全管理标准，并且涉及放射性废弃物的处理费用非常高。

本书所论述的长余辉发光材料是光致发光材料的一种，与具有长余辉发光现象的阴极射线发光材料及放射性发光材料等是不同类型的材料。

发光现象和发光材料已在国民经济和人民生活发挥重要作用，长余辉发光材料是一类吸收了激发光能并储存起来，光激发停止后，再把储存的能量以光的形式慢慢释放出来，并可持续几个甚至十几个小时的发光材料。这种吸收光-发光-储存-再发光，并可无限重复的过程，和蓄电池的充电-放电-再充电-再放电的反复重复是相似的，所以我们建议把长余辉发光材料称为蓄光型发光材料。在欧美国家，人们更愿意称蓄光型发光材料为发光颜料 (luminous paint or luminous pigment)。

追溯发光现象及发光材料的历史，世界上有关最早的发光材料的说法有很多报道，很多报道表明在古代人们就已知道发光无机材料，Titus Livius (Livy) 在他的著作 “History of the Romans” 表明在公元前 186 年，酒神节的女侍在她们的头发中插上 “发光火

炬”，在节后将之投入台伯河（Tiber）中。Jorisson 认为那是 CaS 的发光。

真正有文字记载的可能是在我国宋朝的宋太宗时期（公元 976 ~ 998 年）所记载的用“蓄光颜料”绘制的“牛”画，画中牛到夜晚还能看见。究其原因此画中的牛是日本人用牡蛎制得的发光颜料所画（图 0-1）。



图 0-1 “四库全书”中“湘山野录”记载的蓄光发光画

西方最早记载发光物质的在 1600 年左右，意大利波洛尼亚鞋店经营的商品上镶入的宝石。该宝石由矿石与炭一起经煅烧而制得，在黑暗中可发光，当时十分珍贵。1603 年，意大利人卡斯凯罗斯（Casciarolus）在焙烧当地矿石炼金时，得到了一些在黑夜中发红光的矿物。此后经分析是石头内含有硫酸钡成分，经还原焙烧后可能部分变成了硫化钡，这实际上就是以后人工制备的硫化钡蓄光型发光材料。

在 1609 年 Brand 发现了在空气中发白光的物质，将之命名为

磷光体 (phosphorus), 从此以后无机发光颜料称为荧光粉 (phosphor), 从那以后它的词义一直没有变化, 有时也称为发光粉 (luminophor)。人们将发光分为两种: 磷光 (phosphorescence) 和荧光 (fluorescence), 磷光 (phosphorescence) 一词是从荧光粉 (phosphor) 引申出来的, 它是指激发停止后持续较长时间发光的现象, 长余辉材料所发的光就是一种典型的磷光; 荧光一词则是指余辉时间较短, 一般指 $\leq 10^{-8}$ s 的现象。现在人们一般不对荧光和磷光作严格区分, 把余辉时间短至人眼难以分辨的情况都称作荧光。在本书中, 余辉发光较弱的现象有时简称磷光, 而将余辉发光时间较短的蓄光发光材料有时简称磷光体。

从 1600 年到 1700 年包括 Goethe 在内的许多人都研究这种发光现象。

此后, 1764 年英国有人用牡蛎和硫磺混合烧制出蓝白色发光材料, 这应是硫化钙发光材料。可以说发光现象的发现是始于蓄光型发光材料。

许多天然矿石本身就是蓄光型发光材料, 人们也早已开始用这类材料来制作各种制品, 唐朝诗人王翰写下的优美诗句“葡萄美酒夜光杯”就是最好的写照。因此, 蓄光型发光材料是发现和应用最早的一类发光材料。

系统科学地研究无机磷光体始于 19 世纪, 在 1852 年 Stokes 与 Becquerel, Verneuil, Lenard 规定了第一个荧光 (fluorescence) 的定义, 并发表了著名的 Stokes 定律。在 1866 年 Sidot 发现了 ZnS 的发光现象, 自此, ZnS 成为许多重要的工业化荧光体的基础。在 1867 年 Becquerel 在研究铀酰盐的基础上推断出两种余辉机理, 即双曲线衰减和指数衰减。在 1887 年 Verneuil 意识到重金属杂质对无机物发光有重要作用。

1898 年居里夫妇从铀镭沥青矿中提炼出镭, 放射性发光材料开始在各方面得到应用。

在 1903 年和 1904 年 Lenard 和 Klatt 报道了激活剂与发光之间的关系, 首先使用助熔剂并讨论其作用。Urbach (1926), Randall 和 Wilken 根据余辉衰减的不同时间常数推断不同的陷阱深度。

蓄光型发光材料正式进行生产和应用是从 20 世纪初才开始的，第二次世界大战军事和防空的需要，又促进了这类材料的研究和应用的发展，但这类材料都是硫化物系列。20 世纪 70 年代以前，一直没有出现非硫化物的蓄光型材料的报道。此后，虽有一些有关铝酸盐体系的长余辉性能的简述，但直到 20 世纪 90 年代以后，才陆续正式推出蓄光性能优于硫化物的铝酸盐体系发光材料。这种新型材料一经问世，其优异的蓄光性能就得到了人们的认可，被誉为第二代蓄光型发光材料。

发光材料在合成过程中所形成晶体的晶格里产生了结构缺陷和杂质缺陷才具有发光性能。结构缺陷是晶格点间产生空位和离子，也称晶格缺陷。由材料的晶格缺陷所引起的发光叫做自激活发光。

在基质材料中加入某种元素，高温合成过程中，加入元素的离子掺入到基质晶格形成了杂质缺陷。由这种缺陷引起的发光叫做激活发光。加入的元素叫激活剂，也可叫做发光中心。得到实际应用的各类发光材料大多是激活剂型发光材料。

对于光致发光材料而言，激发材料的紫外光能量可以被基质吸收（也称本征吸收）。基质吸收能量，其发光可直接由价带电子和空穴的复合产生，也可通过由晶格缺陷或杂质缺陷所形成的发光中心来产生。这种类型的发光材料被称为“复合型”发光材料。硫化物系列是这类发光材料的代表。它们是半导体型化合物，基质晶格是产生发光过程的介质。改变基质组分，即使采用同一激活剂，也可在很宽的波长范围内，有规律的改变发射光谱的组成。这类发光材料被紫外光激发时，首先是基质吸收能量，再把能量传递给发光中心而产生发光，因此，在吸收能量、传递能量、发光的过程中，复合型发光材料损耗较大，能量发光效率是较低的。

紫外光能量在激发材料时，也可以直接被发光中心吸收，吸收能量后，发光中心的电子由低能态跃迁向高能态，当电子从高能态返回低能态时产生发光。发光只和发光中心的电子跃迁有关材料叫做“特征型”发光材料。以含氧化合物为基质的发光材料如硅酸盐、磷酸盐、铝酸盐等都属于特征型发光材料。用作激活剂以形成发光中心的元素主要是过渡族元素、稀土元素和类汞元素。这类材

料发光过程较复合型材料简单，发光中心直接吸收激发能量，且浓度也只达到百分之几，中心和基质间相互作用能量较低，从而使这类材料具有高的发光效率。

发光过程示意图如图 0-2。

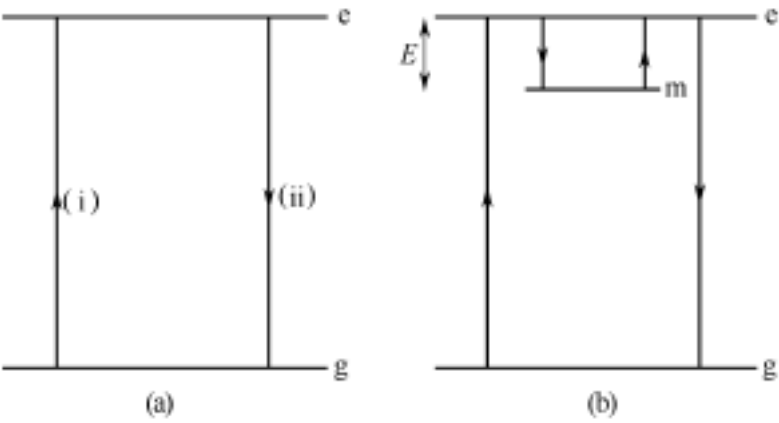


图 0-2 在荧光 (a) 和磷光 (b) 产生过程中的能级跃迁

电子受到外界能量的激发，从基态“g”激发到激发态“e”，即图 0-2 (a) 中的跃迁过程 ()。当受激电子返回基态时就引起光子发射，即图 0-2 (a) 中的跃迁过程 ()。对于荧光，跃迁 () 和 () 之间的时间间隔小于 10^{-8} s，而且这种过程与温度无关。如果在激发态“e”和基态“g”之间的能量“禁带”中存在着“亚稳态”能级“m” [见图 0-2 (b)]、能级图的结构改变了，从“g”激发到“e”的电子可能被束缚在亚稳态“m”内，直到获得足够的能量 E 使之从“m”返回到“e”，到达能级“e”后电子就能进行返回到“g”的正常跃迁，并伴随有光的发射。这样，所说的磷光延迟时间事实上就对应于电子在陷阱“m”中所停留的时间。实际上，本书所述的蓄光发光材料的基本蓄光发光原理正如图 0-2 (b) 的示意图所描述的一样，在蓄光发光材料中该亚稳态“m”对应的是陷阱能级，能量 E 对应的是陷阱深度。

硫化物系列和铝酸盐体系发光材料具有的蓄光性能是和这些材料中存在不同深度的陷阱能级有关。紫外光激发时，有一定能量深度的陷阱能级从激发态捕获了足够数量的电子，并储存起来。紫外光停止激发后，储存在陷阱能级的电子，在室温的热扰动下，逐渐

地释放出，释放出的电子再跃迁到激发态，电子从激发态返回基态时产生余辉发光。

人们迫切期望能长时间发光，且又不含放射性物质的材料早日问世。硫化物系列蓄光材料是无法实现这一期望的。20 世纪 90 年代后研究开发出的铝酸盐体系蓄光材料的余辉时间已达 2000min，实现了夜间长时间发光的要求，用于制作夜光数字符号的实际使用效果已超过永久发光材料，使蓄光材料的发展迈入一个新时代。二战前，欧洲是荧光粉技术和产业的领头羊，二战后美国超过了欧洲取得领先，20 世纪 80 年代以后日本在这一行业开始取得优势。我国在近年开始全力追赶日本，并且在某些方面取得了很大进展，在新型蓄光发光材料及其应用研究及产业化方面居于世界先进水平。

新型蓄光发光材料的应用领域非常广泛，现已广泛应用于建筑装饰、交通运输、军事设施、消防安全、日用生活品等领域，并由此形成了发光产业链，国内外市场前景广阔。尤其是在关系到人民生命财产安全的消防安全领域中发挥着重要的作用。2002 年 9 月，美国《新闻周刊》在“9·11”事件一周年纪念之际以《Five Who Survived》为题，报道了世贸大厦南塔幸存者逃生内幕，我国《南方日报》随后以《“9·11”逃出地狱——世贸大厦南塔幸存者逃生内幕》为题作了翻译转载。其中，就有描述使用该发光材料制作的发光带在烟味呛鼻及漆黑的楼道中指示大楼内人员逃生的经过，摘录如下：

《Five Who Survived》· Around the same time, others were discovering Staircase A . Six floors above the sky lobby, Richard Fern, 39, a technical-support manager for Euro Brokers, remembers watching people jump from the windows of the North Tower and thinking, it s about time I got out of here . He had just stepped into an elevator that would take him down to 78 when the second plane hit, tossing him against the wall of the car and knocking him to his knees . He got up and scrambled for the nearest exit, which turned out to be Stairway A . It was dark inside and he could smell smoke, but he could just make out a luminescent stripe