

发绿光的铽

原文作者：

邓耿（Geng Deng），中国清华大学化学系，《物理有机化学：结构与原理》作者之一。



邓耿为我们解释了铽这种普普通通的镧系元素如何因其绿色的磷光而走进我们的日常生活。

铽也许是地壳中非常稀少的稀土元素之一，事实上它在我们身边却很常见。尽管名叫稀土元素（包括镧系元素及钪和钇），但实际上它们并非都很稀少，例如第65号元素就比汞还丰富，而且现代生活里的很多灯和显示器都使用了绿色的铽基荧光体，由此可见，它已经渗入了我们的家庭和工作场所。

铽的发现始于一个物产丰富的瑞典小村庄伊特比（Ytterby），有不少于4种稀土元素以其名命名——钇、铽、铒和镱，从它们的稀土（氧化物在当时的称呼）中又分离出另外一些元素（如钪、铈、钬、钆和镨）。人们足足花了几十年的时间才搞清了阿伦尼乌斯于1787年在伊特比发现的一块黑色矿石的成分，该矿物起初被称为“ytterbite”。后来为了纪念加多林意识到该矿物含有一种未知稀土，而改名为“gadolinite”。这种稀土，也就是一种新元素的氧化物，被加多林称为“yttria”。

1843年，瑞典化学家莫桑德从一份yttria样品中分离出三个组分：yttria（大部分为氧化钇）、erbia以及terbia，他相信每一组分都含有一种新元素。他的判断是正确的——但是在进行光谱分析的时候，莫桑德的样品弄乱了，这就使得铽（terbium）元素实际上是从他的erbia（莫桑德认为的氧化铒）里分离出来，而铒（erbium）在他的terbia（莫桑德认为的氧化铽）中。由于这样搞得太混乱了，后来这些矿物的名字被调换过来，以匹配与之对应的主要成分。

与其他镧系元素一样，铽最常见的氧化态是正三价。它的三价盐，比如 $Tb_2(SO_4)_3$ ，因在紫外光下会发绿色（或者淡酸橙色）磷光而早已闻名遐迩——其荧光之强烈，肉眼可见。磷光是由几个激发态至基态的电子能级跃迁引起^[1]，其中一个跃迁能发出峰值在545 nm的可见光。许多稀土元素也能发出不同颜色的明亮光线。例如，三价铕能发出红光，而二价铕则发出蓝光。尽管磷光现象早已为人所知，但直到20世纪后半叶人们方才将其应用于照明。

托马斯·阿尔瓦·爱迪生（Thomas Alva Edison）1879年发明的白炽灯已被广泛应用逾一个世纪，但是其本质上是低能效的。使用电流将灯丝加热至发亮发光，意味着大部分能量都以热的形式消散掉了，仅仅一小部分被转化成了光。20世纪60年代，稀土盐因其发光过程中能量损耗较少而受到关注^{[2]、[3]}。而且，发绿光的铽化合物可以和发红光、发蓝光的铕化合物组合起来做成发白光的荧光灯。第一盏商

业化的高能效稀土灯在1974年面世，很快，这种灯便在全世界范围内流行开来。

同时期，使用阴极射线管的传统彩色电视和显示器也发展起来。在阴极射线管里，通过将电子束发射至屏幕上激发荧光而产生画面。这里也用到了铽和铕的化合物的组合，形成了红—绿—蓝（RGB）相加性颜色模型，以产生各种颜色。在20世纪50年代至90年代间，这种显示器将铽化合物带至全球千家万户。尽管21世纪初平板技术的到来，已经限制了阴极射线管显示器的应用，但含铽化合物却另辟蹊径在生物医疗领域做起了探针，比如它们被应用于免疫荧光分析法^[4]和超分子发光传感器^[5]中。

也许，第65号元素另一个更奇异的应用是被用在一种被称为terfenol-D的合金中，它包含铽、铁和镱，是一种磁致伸缩材料，可在磁场下收缩和扩张。因其能承受高张力，terfenol-D已被用于驱动器和水下传感器中。它还被用在了便携式系统“SoundBug”中，这种装置可以粘贴在任何共振平面（比如木头、玻璃或者金属）上而变成扬声器，原理是通过改变施加的磁场，装置中的磁致伸缩材料将电信号转换成震动，随后被共振平面放大。

在元素周期表上，镧系元素相对而言属于开发比较少的一部分，铽位于镧系一族的中间位置，因其出众的绿色磷光效应而获得了高光表现，并有了令人兴奋的应用。

-
- [1] Andres, J. & Chauvin A.-S. in *The Rare Earth Elements* (ed. Atwood, D. A.) 135-152 (John Wiley & Sons, 2012).
- [2] Ropp, R. C. J. *Electrochem. Soc.* 111, 311-317 (1964).
- [3] Wanmaker, W. L. & Bril, A. *Philips Res. Repts.* 19, 479-497 (1964).
- [4] Moore, E. G. Samuel, A. P. S. & Raymond K. N. *Acc. Chem. Res.* 42, 542-552 (2009).
- [5] dos Santos, C. M. G. Harte, A. J. Quinn, S. J. & Gunnlaugsson T. *Coord. Chem. Rev.* 252, 2512-2527 (2008).