

# 我国发光学的研究现状

徐叙瑛

(天津理工学院材料物理研究所)

本文以国际科技发展为背景,介绍了我国发光学在物理、材料、器件及应用方面的工作。在结合实际方面(包括应用基础研究),我们虽然影响还小,但已有特点,唯独在基础研究方面逊色明显,而它却孕育着高技术。

物体将它吸收的能量转化为光辐射的过程表现为发光。针对发光发生的条件及规律,发光学研究了各类发光中心的来源及结构,发光物质中基质及杂质的能量状态,发光中电子过程的渠道及几率,电声子或其它元激发态之间的相互作用,各种现象中的动力学等。在这些研究中已经明确了若干科学规律性,用它既可指导材料的选择和制作,形成了“缺陷工程”、“能带工程”等,又可创造新的实验手段,便于更深入地探索科学问题,形成高技术的基础。

在实验方法中,主要发展了各种分辨技术,这包括能量、空间及时间的分辨。过去几年,在能量及空间分辨方面,发展了高分辨光谱学和高倍率的电子显微术。在激光出现后,又利用它的强度及单色性进一步促进了高分辨光谱学的发展。近几年从激光获得了超短脉冲,利用它使时间的分辨迅速缩短到 fs 量级。即使材料处于激发态的时间很短,甚至少于 ps,元激发态之间的相互作用仍可使某些现象或变化完成,这引起了很多新颖的现象。所以,激发态过程已成为当代发光学中争相开拓的前沿领域。它不仅是物理学中的重要课题,而且也是化学动力学和催化、光合作用中的前沿课题。1987年的国际发光会议及国际发光学杂志都加了一个副标题:“凝聚态物质的激发态过程”。

我国在解放前无系统的发光学的研究。1951年中国科学院应用物理研究所施汝为代所长决定组织发光学的研究。1965年中国科学院物理研究所的发光研究室迁到长春,利用

原中国科学院东北物理研究所的基础,成立了以发光为专业的中国科学院长春物理研究所。在1966年以前,厦门大学、吉林大学、南开大学、河北大学、杭州大学、中国科学院上海光学精密机械研究所、中国科学院半导体研究所、中国科学院长春应用化学研究所、中国科学院原子能研究所、北京有色金属研究总院、防化学研究所、中国原子能工业公司北京核仪器厂、华东电子管厂、北京化工厂等单位也都开展了这方面的工作。发光学的研究及应用得到了蓬勃的发展。在1956年制定的12年科学研究长远规划中,发光学是一个课题,后来又在国家科学技术委员会的领导下组建了全国的发光测试基地。为了交流经验,1964年在北京召开了全国电致发光会议,1966年在南京召开了全国发光材料会议。

1970年后,由于彩色电视、计算机终端显示,近代照明、光电子学等高技术的需要,又有很多单位参加了这一工作。他们有中国科学院上海冶金研究所、中国科学院上海植物生理研究所、中国科学院上海硅酸盐研究所、中国科学院上海技术物理研究所、上海师范大学、北京大学、武汉大学、复旦大学、华南理工大学、浙江大学、陕西师范学院、湖南师范学院、中国科学院化学研究所、中国科学院感光化学研究所、中国科学院上海原子核研究所、中国科学院安徽光学精密机械研究所、重庆市光学机械研究所、上海人民化工厂、营口发光材料厂、长春第三化工厂、白城发光材料厂等。最近,上海科学技术大

学、浙江省新技术应用研究所及天津理工学院都有我国发光界的先驱者新建立的发光学研究基地, 继续加强发光学的研究与应用工作。

早在 1966 年前, 厦门大学及中国科学技术大学就设置了发光专业。他们和中国科学院长春物理研究所、北京大学、中国科学院半导体研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所等单位都设有博士生点, 为我国培养着大量的发光学人才。

## 一、发光物理

国际上引人注目的工作是瞬态光谱、非平衡声子效应、能量传递、激子及电磁激子、光学非线性及双稳态、高分辨光谱、量子阱及超晶格的光学性质、集体效应、过热发光、电致发光、分数维系统的发光等。在这些工作中进展比较快并渗透到其它领域的研究是瞬态光谱学, 包括相干瞬态光谱学。例如, 现已获得可用来进行实验的 fs 量级的激光超短脉冲。这个时间量级相当于晶格振动的周期。又如, 近二、三年才发现的光学斯塔克效应, 即激子光学跃迁的频率兰移, 是在强激光的超短脉冲激发下看见的。这种光诱导状态的寿命只限于激发脉冲的期间。在 ps 及更短脉冲激光的激发下, 其能级展现现象就变得很关键了。再如, 在高分辨光谱中, 经过降温、烧孔或谱线窄化技术, 可以极明显地克服非均匀线宽。但是, 这种慢的、准稳态的方法还克服不了“动态不均匀增宽”, 这就要求助于瞬态光谱学, 特别是相干瞬态光谱学。它提供了光子回声和自由感应衰减等方法。对过热发光的研究要涉及到 fs 量级的变化。研究量子阱、光学非线性及分数维系统的动力学时也离不开超快过程的瞬态分析。

早在 1950 年, 黄昆首先提出了晶格弛豫、多声子跃迁及无辐射的量子理论, 提出了声子及电磁波的耦合振荡。1978 年他又证明了无辐射跃迁的绝热近似及静态耦合两种理论的等价性。1982 年, 他进一步提出了声子的统计分布。这些工作开创了无辐射及电磁激子的研究领

域。

1955 年我们从实验上观察到了电子复合及俘获截面之比随它的能量的增加而减小, 从而提出了光电子(即今日的过热电子)的概念, 冲破了导带电子不可区分的传统观念。1963 年, 用光探针法证实了场致发光中的电子倍增及离化过程。厦门大学对 ZnS 场致发光中滞后和极化现象作了理论分析。中国科学院半导体研究所研究了 p-n 结发光的温度及光谱特性。中国科学院上海光学精密机械研究所研究了掺 Nd 玻璃的能谱、能量转移及无辐射跃迁等。

但是, 比较稳定而有系统的物理研究是在 1977 年全国基础研究规划之后, 而且规模也大。

中国科学院长春物理研究所所以激发态及其运动为主体, 从动力学及光谱学的角度, 在很宽范围的激发密度及时间分辨的尺度上对它在各种层次上的行为及性质作了探讨。他们在大于微秒的时间范围内和正常激发密度下, 研究了过热电子的能量对过热电子与中性受主辐射复合的影响; 电致发光、光致发光及阴极射线激发发光在不同中心间的能量传递及其规律; 观察到稀土离子激发态在晶体中的声子弛豫所引起的均匀线宽的反常温度变化, 提出了修正模型。他们探讨了 III-V 族化合物中的无序效应及其对喇曼散射线型及线宽的影响, 并作了解释。在激发密度提高后, 他们又观察到单轴晶体中束缚激子发光的偏振度随着光强变大而增加, 而发光光谱也向长波方向移动的规律, 从而提出了瞬态电偶极矩发生相互作用的模型。在 ps 至  $\mu$ s 的时间范围内, 研究了金绿宝石中的声子弛豫速度; CdS 中的光学非线性的时间行为, 比较了瞬态吸收及发光的相关变化, 证明非线性光学现象来源于激子和电子的散射; 还发现了在 LaOBr:Ce<sup>3+</sup>, Tb<sup>3+</sup> 中 ns 量级的 Ce<sup>3+</sup> 到 Tb<sup>3+</sup> 的能量传递, 以及  $\mu$ s 量级的 Tb<sup>3+</sup> 到 Ce<sup>3+</sup> 的能量反传。他们在光谱学方面研究了过渡金属和稀土离子掺杂的发光中心的结构、能级、辐射及无辐射跃迁, 他们分析了发光中心与晶场耦合强度变更时发光所受的影响, 鉴

别了电荷补偿离子对发光中心的微扰,目前,他们在进行烧孔实验。另外,还用顺磁共振方法研究了发光中心的结构及状态。对表面及界面上荷电粒子行为的分析发现,在界面附近,极化子的结合能与电声子相互作用的常数之间有类相变的关系。他们研究了光合作用原初过程中的能量传递,确认了声子的参与。

中国科学技术大学研究了非晶半导体的发光、红外吸收、喇曼光谱等与成分及结构的关系,发现了 a-C:H 的金刚石化,提出了 a-Si 及 a-Ge 中杂质的声子局域模;进行了高压下的发光研究;对过渡金属离子及稀土离子的发光谱形及强度进行了分析,并用来确定跃迁的性质及内部结构。他们估计了“J 混合”,对 Judd-Ofelt 公式作了扩充;从头计算了上述掺杂离子的能级;研究了稀土材料的能量传递。

中国科学院半导体研究所研究了 GaP 的静压光致发光, GaAs 中 N 束缚激子的压力行为,静压下 GaP 的喇曼光谱,还有混晶中的长波光声子谱。他们结合激光器分析了俄歇泄漏与发光;利用高分辨光谱研究了 GaAs 中 C 的局域模。他们用 ps 技术测定了  $n = 1, 2, 3$  子能带的能谱;研究了多量子阱中,阱中心及阱边界的杂质发光;测量了过热电子的时间常数与阱宽的关系以及电子温度的弛豫等;发现了从低温到室温,有保持激子发光及激子发光转变为自由载流子发光的两种类型的量子阱。

厦门大学利用密度泛函理论和第一原理能带方法研究了 III-V, II-VI 族化合物及其混晶的电子结构和 Zn Mn Se 的自旋极化能带;对 GaAsP, GaAlAs 中混晶诱导的晶格弛豫、载流子空间分离效应作了研究,提出了 DX 中心的混晶无序模型。他们还研究了 GaP 中的缺陷及其成因,找出其原子结构及电子态;还对 III-V 族化合物宽禁带半导体的激子束缚机制作了探讨,证明 GaP 中激子的束缚机制符合 H-TL 模型,并从光谱分析说明黄昆因子不随温度而变化。在 GaP:N 中再掺 Bi,观察到 Bi 的增加引起 N 束缚激子发光的猝灭,他们认为这是一种隧穿转移现象。他们还将光耦合到薄

膜,并测量了它的吸收。

中国科学院上海光学精密机械研究所研究了稀土离子和过渡金属离子在玻璃中的发光,包括辨认能级、能量转移、基质和激活中心的相互作用、它们波函数的混杂、浓度效应等。他们利用选择激发及时间分辨谱等研究了某些离子发光的动力学,特别是基质对激活离子的发光谱线的频移及跃迁几率的影响。他们研究了强激光与玻璃之间的相互作用,包括热效应、电致伸缩和非线性极化随着激光脉冲长短的变化。他们对激光晶体中稀土及过渡金属离子发光的能级、效率、弛豫机构及色心的发光等也作了研究。在激光染料的发光中,发现若丹明 6G 体系的荧光量子效率与溶剂的电离势有线性关系。

中国科学院应用化学研究所计算了  $f^6$  组态离子在 32 个点群中  ${}^3D_0$  至  ${}^7F_7$  的跃迁行为,发现偶次晶场引起  ${}^{2+1}L_1$  能级的位移,并提出了零次晶场对电子云扩大效应的贡献;归纳了  $4f^N$  组态的一些参数随原子序数的变化;研究了若干激光晶体中稀土离子发光的光谱、振子强度、 $Q_{10}$  参数等。他们从 20 个含 Nd 体系中发现随着共价程度的提高,电子云扩大效应加强,谱线红移,发现超灵敏跃迁的振子强度与强度参数的总和成正比。他们还研究了稀土离子间的敏化及猝灭,研究了  $Eu^{2+}$  的 f-f 跃迁所需基质的选择判据,并利用它合成了 40 余种具有这种发光特性的复合氟化物,发现  $Eu^{2+}$  在低配位数的复合氟化物中有时也可看到。对  $Ce^{3+}$  中心也研究了它的发光谱峰位置与基质的共价程度的关系,而在同结构的化合物中,发光峰位则随离子半径及电负性而变化。他们还研究了某些原子、分子及金属离子的荧光寿命。

复旦大学纵向推广了三参数模型,并在敏化剂之间有能量迁移的情况下,建立了敏化剂和激活剂之间能量传递的层式分立模型。

中国科学院上海植物生理研究所研究了光合磷酸化高能态同 ms 延迟发光的对应关系。发现发光的快变化部分与膜电位及膜内外质子的浓度差有关。他们还研究了外电场对叶绿素荧光的猝灭及 ms 延迟发光的加强。他们使用叶

绿素聚集体为工作对象,发现只有聚集态的叶绿素才有延迟发光,而发光强度与聚集体中叶绿素的分子数有关。他们还研究了去镁叶绿素荧光的猝灭,证明它受“P-680”氧化或还原状态的调制。

## 二、发光材料

发光材料的研究比较集中在两个方面。一方面采用了更多的新技术、新工艺、新原理,制备出薄层结构材料及量子阱等,例如使用了分子束外延、金属有机化合物气相沉积等技术,实现物理沉积及反应沉积等过程,得到纯度较高的材料。另一方面,充分利用已经积累的实验规律,指导材料的制备。例如,利用自由激子发光及其强弱,估计材料中杂质的多少。又如,利用施主受主对的发光,了解发光中心的近邻及远邻的情况。

把这两方面结合起来,人们在 ZnSe 中发现 P 及 As 可以形成决定材料电学性质的中心。利用分子束外延等技术,既消除了不需要的杂质,又可掺进合适的离子,从而得到 P 型 ZnSe。这一结果开辟了用宽禁带 II-VI 族化合物作成短波长可见光的 p-n 结的前景,而且对长久有争议的一个问题: II-VI 族宽禁带化合物不易作成双性的原因是电荷补偿还是纯度不够,作了一些回答。同时,IIA-VI 族化合物薄膜已被制成,它可以有不同颜色的电致发光。此外,  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  单晶的生长和  $\text{BaFCl:Eu}$  X 光存储材料的应用也扩大了材料研究的范围。

但是在发光材料的应用方面,目前仍以灯用及阴极射线管用的材料为多。

五十年代初,中国科学院长春应用化学研究所制成了掺 Sb 及 Mn 的卤磷酸钙,成本仅为进口价的四分之一,在国内被采用。同时,中国科学院物理研究所制成了红外磷光体;厦门大学制成粉末电致发光 ZnS。到五十年代末,中国科学院物理研究所又作出了各种发光颜色的光致发光材料、长余辉光致发光材料和阴极射线发光材料。在这些材料中的杂质是类汞元

素、重金属和过渡金属元素。六十年代初,中国科学院物理研究所又作出了粉末交流电致发光 ZnS,其效率达到 10 lm/W。同期中国科学院半导体研究所研究了扩 Zn 的 GaAs p-n 结的电发光,并在 77K 下看到受激发射。他们发展了液相外延技术。中国科学院上海光学精密机械研究所结合激光试制了几种掺 Nd 的玻璃。

1970 年后,材料工作有很大的进展,特别表现在稀土离子的应用上。这些材料的选择都结合着照明、显示、显象、光电子学及探测技术等多方面的需要。

在光致发光方面,北京有色金属研究总院、武汉大学,复旦大学,中国科学院应用化学研究所都做了灯用三基色粉。他们用的基质都是钼酸盐及氧化钇,只是在绿粉中减少了 Tb 的用量,或者增加了 Mn 杂质,发光效率达 80 lm/W,显色指数在 80 以上,最高至 85。武汉大学及中国科学院应用化学研究所研制成功用于高压汞灯的掺  $\text{Eu}^{3+}$  磷钒酸盐或硼钒酸盐。中国科学院长春物理研究所及武汉大学都用磷酸盐做成了紫外发光材料。复旦大学也做成了,但用的是复合碱土硼铝酸铈。中国科学院长春物理研究所和复旦大学还研制成功太阳光管、晒版机、重氮复印机等用的发光材料。复旦大学以硼磷酸盐掺  $\text{Eu}^{2+}$  的发光粉制作的太阳光管的色温在 5000 K 及 6500 K 时的显色系数达 95 至 99。

在阴极射线发光方面,中国科学院长春物理研究所在七十年代负责全国彩色电视荧光粉及黑白投影电视荧光粉的攻关。三基色荧光粉达到当时日本产品的水平。而同时进行这项工作的北京有色金属研究总院及武汉大学也得到类似的结果,并且在试制彩色显象管的工厂内批量试用。中国科学院长春物理研究所研制成功性能良好的阴极射线发光测试设备,这为进一步发展阴极射线发光的工作,创造了十分关键的实验条件。八十年代,他们制成了高亮度稀土磷光体、橙红色长余辉发光粉及琥珀色荧光材料。1988 年天津理工学院试制出球形、表面粗糙的  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{S:Eu}^{3+}$  红色发光粉,它有利于涂屏。阴极射线管的应用范围很广,电视用粉

只占一个方面。

在电致发光方面，交流粉末材料早在七十年代初就开始应用。中国科学院长春物理研究所、上海师范大学、中国科学技术大学、河北大学及白城电光器材厂都可生产交流粉末材料，并作了各种应用。直流粉末电致发光材料及电致发光薄膜主要是由中国科学院长春物理研究所制作及研究，他们还发现了直流电致发光材料的交流特性，研究了掺稀土离子的碱土金属化合物，以求获得多色的发光。

在发光晶体方面，对 II-VI 族化合物，目前只有中国科学院长春物理研究所一个单位进行发光研究。他们用化学输运法及升华法生长晶体，用激子发光的出现作为判据，得到了高完整性的  $ZnS, ZnSe, ZnS_xSe_{1-x}, ZnTe, CdS, CdTe$  等晶体。对 III-V 族化合物，中国科学院上海冶金研究所生长了  $GaAs$  及  $InP$ ， $GaAs$  的位错密度  $< 500/cm^2$ ， $InP$  的位错密度  $< 4 \times 10^4/cm^2$ 。厦门大学以 SG 法生长了片状  $GaP$ 。北京有色金属研究总院以 SSD 法生长了  $\phi 45mm$  的  $GaP$ ，以平底带冷指坩埚生长出最大面积为  $13cm^2$  的  $GaP$ ，后来又用高压单晶炉直接拉制可以掺杂的  $GaP$ ，它的直径为  $45 \sim 50mm$ 。

在薄层结构材料方面，中国科学院半导体研究所用分子束外延方法作出了各种量子阱。中国科学院长春物理研究所建成了分子束外延及金属有机化合物汽相沉积设备，作出了  $InP, ZnS, ZnSe$  等材料；建成了 L-B 膜液槽，制备了酞菁铜薄膜。

在 X 光成像的探测及存储方面，北京大学作了很多工作。而在核辐射的探测及存储方面，中国原子能科学研究院中国原子能工业公司北京核仪器厂都有系统的研究及系列的产品。中国科学院上海硅酸盐研究所生长了  $Bi_4Ge_3O_{12}$  单晶，出口西欧，用于正负电子对撞机的电磁量能器。

### 三、发光器件

照明技术向节能及高显色性发展；阴极射

线发光向高鉴别率显示、显象发展；半导体发光器件则配合光纤通信及光电子学中的要求发展。在显示技术方面出现了薄膜电致发光、等离子体发光及液晶显示三者之间的相互竞争，出现了利用非均匀线宽中的烧孔实现存储的技术，也出现了利用非均匀线宽中的众多零声子线及超短脉冲技术进行数据处理的设想。

电致发光薄膜在视角、亮度、对比、反应速度等主要指标方面都优于其它两类显示器件。由于液晶需要从背后照明，所以它的功耗加大，价格上涨。电致发光的功耗虽比背后照明的液晶显示还高 2—3 倍，但它们的价格已接近。

中国科学院上海冶金研究所系列地发展了半导体发光器件。现在他们已经作出十几种器件，其中七种已推广到生产单位使用。在短波长发光器件方面，他们研制成功高效率  $GaAs$  红外发光管，其外量子效率为 4—6.3%； $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$  双异质结面发光管，尾纤输出功率 50—150  $\mu W$ ，频率响应 12—20MHz，寿命  $10^3h$ ；快速高辐射度  $GaAlAs/GaAs$  边发光管，输出 1—2mW，带宽 100MHz；还有非对称波导  $GaAlAs/GaAs$  快速边发光管，尾纤输出最高 220  $\mu W$ ，截止频率  $> 50 \sim 88MHz$ 。在  $InGaAsP/InP$  长波长器件中，他们完成了  $InGaAsP/InP$  双异质结发光器件，尾纤输出 40—50  $\mu W$ ，波长 1.25—1.31  $\mu m$ 。他们又完成了 1.3  $\mu m$  的  $InGaAsP/InP$  边发光管，还完成了 1.55  $\mu m$  的激光器。七十年代，浙江大学研制了  $GaAs_{0.6}P_{0.4}/GaAs$  及  $GaP$  发光二极管。

中国科学院长春物理研究所试制了各种电致发光器件。六十年代他们制成了潜艇用信号显示器、高炮瞄准显示器。随后他们又改进了工艺，制成了冲天炉程序控制模拟及数字显示装置、数字钟、记分器等，进一步做成了多象元 ( $512 \times 512$ ) 海军潜艇指挥中心用的显示屏。八十年代他们研制了大型多色模拟及数字显示器，如  $3 \times 1m^2$  的粮仓自动控制中心的显示器和  $3 \times 2.5m^2$  的亮度为  $20cd/m^2$  的人民大会堂的显示器。其后他们又使用了塑料屏，把亮度提高到  $80cd/m^2$ 。目前，在国内已有十余个厂家

生产交流粉末电致发光屏。

中国科学院长春物理研究所还制备了直流粉末电致发光屏。1985年他们提供了尺寸达 $1\text{m}^2$ 的矩阵屏,用于人民大会堂。1986年他们又完成了可显示1000个字符,鉴别率达1.5线/mm的微机终端显示屏。

上海师范大学用交流粉末电致发光,试制了平板矩阵电视,完成了大屏幕彩色显示,现在正在试制大屏幕矩阵字符显示器。

杭州大学研究了低能电子发光,将其饱和亮度从 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 提高到 $72800\text{cd}/\text{m}^2$ ,并且使用了迄今被视为“死电压区”的( $10^2\text{V} < \text{电压} < 10^3\text{V}$ )阴极射线发光,获得了亮度高达 $50000\text{cd}/\text{m}^2$ 、效率达 $12\text{lm}/\text{W}$ 实用的彩色发光屏。

#### 四、发光应用

上节介绍的发光器件应用于照明、显示、摄像、光电子学、探测等方面,除此之外还有一个很大的研究领域,通常称为发光分析。过去虽有一些零碎的工作,但应用很少。值得庆幸的是,目前发光分析已成功地用到了医疗诊断和农业增产。如中国科学院长春物理研究所发现了癌患者血清的特征荧光,试制了光助剂,广泛地用于农业增产。又如上海人民医院发现

(上接第536页)

有系列产品。对于较厚装置的探伤,需用基于电子加速器的探伤仪,第一台 $4\text{MV}$ 的样机也已研制成功。便携式的X波段的小型电子直线加速器探伤机还有待进一步开发。无损探伤的发展方向是实时探伤,进一步发展为工业CT。工业CT的研究国内也已有良好开端。

同位素示踪技术在医学中获得了广泛的应用。国内已有近千家医院使用放射性同位素。 $\text{XCT}$ ,  $\text{PECT}$ ,  $\text{ECT}$ ,  $\text{NMRCT}$ 的研制工作都已先后起步,现在医院中使用还都是进口的。比较简单的 $\gamma$ 照相机有可能出口。同位素示踪技术在农业科研中已有不少成果,在水文地质中也作出了重要贡献,如找水源、监测水坝渗漏等。例如,用碘-131对湖北温峡口水库大坝险

了极弱的手指荧光和身体素质(包括疾病)的对应关系。这些工作都很有价值,得到多方面的关注。另外还有一支装备良好的发光应用的队伍,活跃在测定辐射剂量、估计古物年代等战线上。

三十几年来发光学的研究经历了从无到有,几经发展与调整的过程,目前已形成一支强大的队伍。他们既有若干梯队,从事基础研究和培养后继人才,又密切结合国民经济,从事把研究成果转化为生产力的发展研究。发光学所以能够如此迅速地发展,首先是由于新技术的使用对它不断提出了新的要求。这种要求现在更加迫切,而且越来越高,很多新技术是在相当深入的研究基础上提出来的。所以,必需既作基础研究,又作应用研究,才能使发光学在新技术中发挥它的作用。

在应用方面,我们集中在传统的领域,虽然影响还小,但已有特点。发光材料的生产,首要的是它的质量。利用我国人力、资源的优势,我们完全可以在国际上竞争。至于基础研究,虽然大家都很努力,但它和国外的前沿研究仍有一定差距,而它却又是高技术发展的摇篮。

发光学当前正生机盎然,为适应我国当前建设中提高产品质量的需要,并迎接高技术发展的挑战,希望我国发光学的研究更上一层楼。

情进行观测,为国家节省了维修工程投资一千多万元。同位素示踪技术在工业中的应用刚开始不久,在油田中,氟、钡-131微球示踪取得了良好效果,深受油田欢迎。

总之,同位素与辐射技术应用,在发达国家已形成多种新兴产业,取得了巨大的经济效益与社会效益。在我国,它在农业与医学的应用比较广泛,卓有成效,在工业上的应用,大多处于起步阶段,潜力很大,但目前困难还不少。

核技术,作为一门新技术、高技术,将在我国国民经济中发挥日益重要的作用,这是必然的。我们相信,核技术应用之花必将开遍中华大地,结出更加丰硕的成果,为四化建设作出更大贡献。