

发展激光技术中的材料科学*

干 福 熹

(上海市激光学会理事长)

Developing material science for laser technology

Gan Fuxi

(Director, Laser Society of Shanghai)

激光是一门多学科结合的新兴技术,它的发展必然牵动许多学科的发展,在某种意义上看,是具有带头作用的科学技术。本文简要阐述激光技术和材料科学之间的密切关系,认识到在发展激光技术中还要很好地对材料科学进行深入研究和探索。因此,进一步发展激光材料和光学材料是促进激光技术发展的重要因素,应该唤起人们的关注。

一、激光技术和材料科学的关系

激光技术和材料科学的关系问题,可以从两个方面进行观察和分析。

(1) 激光的产生和发展,给光学材料赋予更新和更丰富的内容。传统的光学材料一般指光学介质材料,它的作用是透过或传播特定的光线,如用作棱镜、透镜、滤光镜和反射镜等。激光材料是一种光学功能材料,所谓光学功能材料是指在力、声、磁、电和电磁场作用下材料的光学和光谱性质发生变化,利用这些变化产生某种能量的转换过程以及探测和改变光的某些特性的材料。所以,目前光学材料不仅具有介质的作用,同时还有某种功能的特性,因此,它比传统的光学材料的含义要更广得多。另一方面也应该看到,材料科学的进展也促进了激光技术的发

展,因为光学材料的好坏直接影响到激光的质量,这在国内外都是显而易见的事实了。以我国为例,第一台红宝石、钕玻璃、掺杂的氟化钙和钨酸钙、掺钕石榴石、砷化镓半导体、氧氯硒液体等激光器能够很快研制成功,重要的原因之一就是所用的激光工作物质材料是我国自己制备的,并建立了一定的基础,至今国外学者对我国在激光工作物质和功能材料上所作的工作和所具备的基础是十分赞赏的。

(2) 激光作为强的相干辐射,它作用于材料产生了不少新的现象,同时也提出了不少新的问题。六十年代末至七十年代初出现了强激光使钕玻璃工作物质产生破坏就是一个例子。因为这个问题得不到解决将会严重影响高功率固体激光技术的发展。美国由国家标准局等单位组织的每年一度的玻璃破坏会议,就是研究解决这些问题的。当玻璃破坏问题解决后,非线性晶体、窗口材料、薄膜等破坏问题也就突出了出来,这些问题后来又得到不断的解决,这时强光通过光学材料后引起光束畸变的问题又突出出来了,所以至今还是每年举行光学材料的激光损伤会议。几年来,我们进行了大量的研究工作,对材料的非线性效应也从物理机理和物质结构的方

* 1979年上海激光年会上报告。

面认识得更为清楚了。激光与材料相互作用中产生的新现象是特别值得我们研究激光和材料两方面的科技人员的注意和关心。利用一种新的物理现象往往可以发展成为一种新型的材料,应该承认半导体、超导、激光材料的出现就是如此的。具体的明显例子如激光辐照某些非氧化物(如硫、硒化合物)玻璃,由此而产生了状态的变化,由非晶态变成晶态,因此引起了光或电的性质变化,利用它可以做成光学记录和开关材料。又如最近国外正研究较多的双稳态,有可能发展成一种新型的光学存储和记忆材料。所以,我们对光学材料的研究范围和内容要看得远一点,更深刻一点,它决不仅是熔炼出几块玻璃、拉出几根晶体的简单工艺问题,而更需要由激光科学技术和材料科学这两方面互相结合和协作,开展更加广泛和深入的研究,争取有所创造,有所前进。

二、进一步发展激光材料和光学材料的几点看法

根据上述的观点,我认为在激光发展中还有很多光学材料问题值得我们去探索和研究。

1. 激光工作物质。是不是激光工作物质发展已经差不多,稀土离子和过渡元素离子的光谱和发光也已了解得很充分,有用的激光材料也就是这几种了呢?我的看法还不能简单地下结论。因为,目前高功率激光仍然是固体激光器居首要地位,激光工作物质用于高功率激光系统中还有不少问题也待于解决。当然,在激光广泛应用发展上固体激光工作物质有两个很大的不足之处,即缺乏短波长激光输出和可调谐激光。事物的发展总是辩证的,我们可以这样说,在激光发展的初期,寻找工作物质主要条件是狭的谱线和高的受激发射截面,因为具备上述条件的材料,是容易产生激光的。现在,正好相反。

如要获得可调谐的固体材料,必须要求上能级或下能级有宽的能级,目前的色心激光工作物质(卤化物色心)、 $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ 和 $\text{MgF}_2:\text{Ni}^{2+}$ 、 Co^{2+} 就是例子。因此,我们对 $3d$ 、 $4d$ 、 $5d$ 、 $6d$ 离子的能级和光谱应该再重新研究和分析。发展半导体激光的重点也是在寻找连续可调谐的半导体器件,往往采用固相溶液的半导体材料。目前可以运用激光作为光泵光源,因此利用多光子吸收和放大,以及其他可能的上转换能量转移过程,这是有可能获得有用的可见及短波长的激光工作物质。应用单色激光选择激发,可以获得高效率的短波激光输出,例如用准分子激光光泵含 Tb^{3+} 、 Tm^{3+} 的无机玻璃和晶体以及有机螯合物液体或蒸气的研究正在进行。应用单色激光选择激发,我们还可以获得微型固体激光器。

所以,当前激光工作物质的研究的重点应该是两个方面:

(1) 改善现有激光玻璃和晶体制造工艺,降低和消除缺陷,改换基质材料(如用非线性折射率 n_2 低的),提高现有激光材料的性能和质量。

(2) 加强光谱研究工作,探索和发展新的激光工作物质。

2. 激光功能材料。目前虽然已经有了不少种的非线性材料,当前改进它们的制造工艺和提高质量同样是重要的工作。随着激光的发展,以下要求的功能材料还是要探索的。

(1) 具有高的二次非线性极化系数 \mathcal{H}_2 及低的三次非线性极化系数 \mathcal{H}_3 的功能材料。目前的非线性晶体, \mathcal{H}_2 提高而 \mathcal{H}_3 也高,材料破坏和光泵畸变问题还是严重地存在。在研究材料的高次非线性极化系数和物质结构的关系的基础上寻找 \mathcal{H}_2 高而 \mathcal{H}_3 低的材料是十分有意义的,例如某种含有成对电子而结构对称性低的稀土氟磷酸盐晶体。

(2) 玻璃开关材料。目前玻璃材料用在

电光、磁光和声光开关和调制上都是主动式的。被动开关材料主要为染料,由于液体在使用上的不方便以及光照不稳定性等,应该寻找固体的被动开关材料。研究材料的非线性吸收及损耗的电子过程,我们有可能获得快速的被动开关材料。如某些玻璃半导体薄膜和掺杂的晶态和非晶态物质。

(3) 快速的存储和记忆材料。目前的存储材料大多是直读式的,速度比较低。要发展快速的存储材料,还是要利用非线性的电子过程,以上提到的双稳态就是一个例子。为了探索响应时间为毫微秒及微秒的存储和记忆材料,就要研究激光引起的材料结构、性质和化学反应的瞬态变化。

(4) 紫外功能材料。当前研究还不多,有机化合物的前途较大,主要是轻原子组成的异形分子。

3. 和激光应用有关的光学介质材料。激光应用的发展对光介质材料也提出新的要

求,目前要侧重研究解决的有:

(1) 用于光通讯的光学纤维。光学纤维的损耗近年有大幅度的降低,多模传输的光纤已有所解决,而单模传输的光纤材料还要花大力量,纤维材料的色散特性和短脉冲激光的传输特性皆需要深入研究。

(2) 低损耗和高热传导的红外及紫外窗口材料,特别是能制成大尺寸。以红外窗口为例,Ge、GaAs 的损耗大,非线性折射率高,而卤化物晶体易潮解,热传导系数小。国外采用 II~VI 族化合物的单晶和多晶材料。

(3) 低非线性折射率、低损耗、高度均匀的光学玻璃,作为高功率激光的棱镜、透镜等光学元件,等等。

综上所述,在激光发展中光学材料的研究内容是极为丰富的,它是一门多学科及技术互相渗透的领域,是需要从事化学、化工、光谱、应用物理等各方面科技人员协作配合,努力工作的。

关于全息术的几个问题

王之江

(上海市激光学会副理事长)

Some problems on holography

Wang Zhijiang

(Vice Director, Laser Society of Shanghai)

一、全息记录和信息量

全息图的信息量与记录的方式有关,而它的最大信息容量则是由底片的尺寸 c , 分辨能力 d , 以及底片的动态范围 R 决定的,它等于 $(c/d)^2 \log R$ 。暂且不计动态范围的差异,则底片的总线条数决定了信息容量的

大小。例如一张大小为 80×120 (毫米²) 的底片,设每毫米可以分辨 2000 线,则它的信息容量约为 4×10^{10} 。对于目视二维图象来说,这样大的信息容量是多余的。我们曾讨论过,利用底片的动态范围,记录三维物体并不需要比记录二维物体具有更多的底片总线条数^[1]。高分辨率全息底片的要求来源于不

* 1979 年上海激光年会上报告。