

# 强激光

## 几个激光光学问题

中国科学院上海光机所 王之江

### 1. 高亮度是激光的主要特征

大孔径毫微秒脉冲激光的亮度已达  $10^{18}$  瓦/厘米<sup>2</sup>/立体角, 并还可能提高, 与之相比, 太阳表面亮度仅  $2 \times 10^8$ 。亮度决定照度的上限 ( $E \leq \pi B$ , 瓦/厘米<sup>2</sup>)。照度就是功率密度, 它决定了光束引起的物理作用性质, 从加热到液化、气化、形成等离子体, 直到形成核反应。功率密度到  $10^6$  方能对金属有效烧蚀(喷溅),  $10^8$  时在吸收体表面发生等离子体屏蔽,  $10^{12}$  时形成较强爆震波,  $10^{15}$  时可产生中子,  $10^{20}$  时的光压  $\sim 10^{10}$  千克/厘米<sup>2</sup>, 场强  $\sim 10^{11}$  伏/厘米。与之相比, 第一玻尔轨道上场强  $\sim 10^9$  伏/厘米。

激光技术的发展形成了高稳定激光(超窄谱线宽度)以及超短脉冲激光, 这两方面也将导致新的科学技术发展。激光的单色亮度与光子简并度相当,  $\Delta t$  或  $\Delta \nu$  缩小都能提高简并度。

人们时常认为相干性是激光的特征, 实际上将普通光源的使用条件加以限制后也可以得到完全相干的光束, 例如地面看到的遥远星体来的光, 只是这种相干光束的亮度较低而已。

### 2. 钽玻璃大能量激光的亮度

通过多级放大似乎可以将激光功率密度无限制提高, 从而获得任意高亮度。实际上由于基质、窗口、反射面等元件将在高功率密度下变形或损伤, 从而限制亮度提高。玻璃对 1.06 微米激光限制在  $10^9$  瓦/厘米<sup>2</sup> (对毫微秒脉冲) 或  $10^4$  瓦/厘米<sup>2</sup> (毫秒脉冲)。对 10.6 微米毫微秒脉冲激光的窗口, NaCl 限制功率也是这个量级。形成限制的机理大体清楚, 因此提高亮度主要须减小激光发散角才能得到, 发散角极值由衍射决定, 仅在大孔径系统方能更小。

玻璃器件中使发散角大于衍射角的因素有: 光泵不均匀而使玻璃热变形, 激光的自作用(热自聚焦和电伸缩自聚焦等)导致弥散, 激光横模不稳定或多横模等。研究了各种相应措施以克服它们, 导致了相应的器件结构, 措施有: 补偿, 片状激光器, 用发散光束和象散光束, 扫描放大器, 长腔放大, 不稳定腔振荡器等。通过这些工作后, 钽玻璃大能量器件达到的亮度为  $10^{10}$  (10 毫微秒,  $10^6$  瓦)。

### 3. 激光的模式结构和某些光性测量

为判断激光器的工作状态就必须进行适当的测量诊断。为此对激光的脉冲结构、光谱和瞬态光谱、横模结构的时间变化、波面面形和相干性、光束发散角分布、基质形变和弥散的时间变化等进行了测量。

通过测量作出了下列判断: 对选模能力较强的腔(倍率较大的不稳定腔)而言, 基本上属单横模工作, 方向性不好的主要原因是横模畸变(基质畸变), 热自聚焦导致横模龟裂, 纵模竞争是脉冲结构不弛豫的主要原因, 在自由振荡器件中纵模自锁而成超短脉冲常会发生, 因个别脉冲功率超过平均功率将导致破坏阈值下降。

## 强激光与物质作用机理的初步研究

吉林大学物理系 张在宣 米辛 高锦岳 董玺娟 吴景凯

激光与物质相互作用的物理过程与激光功率密度有关。强激光辐照固体材料能产生高温高压的稠密气体, 在一定条件下会产生激光热爆炸。

我们采用脉冲激光器与电光调 Q 脉冲激光器,用高倍显微物镜会聚,在微区获得较高的激光功率密度。通过实验观察了强激光与玻璃钢、石墨、铝、钢、硅钢、金、硅、二氧化硅、锗、铌、钼等固体靶材相互作用的现象。在强激光与材料相互作用时产生火焰柱,有的材料还有火花四溅,并有响声,表面有激光破坏坑。可以通过强激光与材料的相互作用过程(光谱、振动、温度、压力等参数影响的变化)和作用的后果(表现的显微观察、称重等)的实验分析来研究作用机理。在本文中我们通过对破坏坑的光学显微观察进行初步的分析:激光热烧蚀主要是热作用,它的烧蚀坑比较规整、光滑,有烧蚀熔融的痕迹,极少喷溅物;激光热爆炸是由于靶材吸收激光能量,在表面内形成高温高密度气体,高压脉冲冲破材料结合力的束缚产生热爆炸,主要表现为力学作用,因此坑的形状不规整,比烧蚀坑大,坑内不光滑,有断裂的痕迹,有大量喷溅的爆炸碎片(碎片远离中心)。

主要的实验结果和初步分析如下:

一、强激光作用于固体靶面,造成激光破坏,激光破坏与功率密度有关,激光功率密度不同,其物理过程也不同,在一定条件下会产生热爆炸。我们观察到玻璃钢、石墨、铝、钢、硅、二氧化硅等固体靶面的热爆炸现象。

二、对于同一种靶材,在一定的激光功率密度下,被吸收的激光总能量决定了产生高密度气体的多少(可以与爆炸的装药量类比),因此,激光破坏效果与吸收激光的总能量有关。

三、在同样的激光功率密度和总能量下,激光破坏效果与材料的结构及性质(光学性质、热学性质、力学性质)有关。

四、在同样的激光功率密度和总能量下,靶材表面的涂层会严重影响激光破坏效果,有的增强破坏效果(如水层),有的减弱破坏效果(如有树脂)。

## 激光等离子体 X 射线摄谱及 $T_e$ 、 $n_e$ 的测定

中国科学院上海光机所 卢仁祥 龚维燕 殷光裕

本文报道了以高功率钕玻璃激光束辐照玻璃球壳靶所形成的等离子体的 X 射线用 KAP 及 PET 晶体谱仪摄谱的实验结果。

所用的激光器能量为 20~30 焦耳,脉冲宽度约 1 毫微秒(功率约  $2\sim 3\times 10^{10}$  瓦),经  $\phi 60$  毫米、焦距 120 毫米的非球面透镜聚焦到处于真空靶室内的空心玻璃球壳靶上。激光束的方向性优于 0.5 毫弧度,靶面功率密度约  $10^{14}$  瓦/毫米<sup>2</sup>。玻璃球壳尺寸约  $\phi 100$  微米,壁厚约 4 微米。实验中通常用同样功率的两路激光迎面辐照靶丸。

谱仪做成一个暗盒式结构,为了滤去可见光和紫外线同时又尽量减少对软 X 射线的吸收,谱仪窗口选用 4 微米厚的聚脂薄膜,两面蒸镀约 0.7 微米的 Al 层。有时也用二层镀 Al 的 Formvar 薄膜作为窗口。谱仪窗口与靶丸距离约 25~30 毫米。谱仪内径  $R=57.3$  毫米。谱仪安放在使其波长色散方向与激光光轴成  $50^\circ$  夹角的位置。

文中给出了用 KAP 平晶拍摄到的高质量的硅类氢、类氮离子的 K 系谱线照片及相应的黑度计扫描曲线。可以清楚地看到在共振线长波侧的伴线及互相合线,还看到与线状光谱相衔接的连续谱。其中三根互相交迭的谱线即硅类氢共振线 6.65 埃( $1s^{21}S-1s2p^1P^0$ )、互相合线 6.69 埃( $1s^{21}S-1s2p^3P^0$ )及长波伴线 6.74 埃( $1s^{22}p^2P^0-1s2p^2D$ ),在用 PET 平晶高分辨率谱仪时已完全分开,并可以辨认出一根属于类氮离子外附加一个主量子数  $n$  为 3 的电子所形成的新的伴线 6.661 埃( $1s^23p^2P-1s2p3p^2D$ )。

文中还给出了用 KAP 凸晶高分辨率谱仪所拍得的氧的类氢共振线及其长波伴线的黑度计扫描曲线,对各条谱线的波长及跃迁的电子组态进行了辨认。可以看出这一结果优于国外用掠入射光栅谱仪所得的结果。