

“ 神光 II ” 首轮基频光驱动内爆实验超热电子诊断^{*}

祁兰英¹⁾ 陈家斌¹⁾ 蒋小华¹⁾ 刘慎业¹⁾ 郑志坚¹⁾ 张保汉¹⁾
丁永坤¹⁾ 李朝光¹⁾ 王大海¹⁾ 朱森昌²⁾ 张家泰²⁾

¹⁾ 中国工程物理研究院高温高密度等离子体物理国家重点实验室, 绵阳 621900)

²⁾ 北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088)

(2001 年 5 月 6 日收到, 2002 年 3 月 13 日收到修改稿)

在“ 神光 II ”装置上进行了激光直接驱动爆推型和烧蚀型 DT 气体的玻璃微球靶内爆实验. 采用多道滤波-荧光谱仪(FFS)测量 1.5—250keV 硬 x 射线谱, 由高能 x 射线谱通量和斜率推算出这两种内爆靶产生的超热电子份额 η_{he} 和超热电子温度 T_{h} 分别为 $\eta_{\text{he}} = 25\%—30\%$, $T_{\text{h}} = 30—40\text{keV}$ 和 $\eta_{\text{he}} = 0.5\%—4\%$, $T_{\text{h}} = 10—20\text{keV}$. 并给出了不同内爆靶型在不同激光能量 E_{L} 和不同调焦方式下超热电子产生的特征, 由爆推靶产生超热电子份额与实验测量靶的能量吸收效率 $\eta_{\text{a}} = 29\%—34\%$ 比对, 证明爆推靶吸收的激光能量是以超热电子能量沉积为主, 同时实验观测中子产额 Y_{n} 随超热电子能量 E_{he} 的增大而增大, 从而证明了爆推靶是依靠超热电子加热玻璃球壳实现内爆的.

关键词: 1.053 μm 激光, 直接驱动, 超热电子, 爆推靶和烧蚀靶

PACC: 5250J, 5225, 5240

1. 引 言

激光驱动靶球内爆实现热核聚变, 是目前惯性约束聚变(ICF)领域的重要课题. 激光聚变靶型有爆推靶、烧蚀靶两种. 由于爆推靶是依靠超热电子加热玻璃球壳实现内爆, 不仅要求超热电子数额大, 还要有均匀化能力, 为此, 球壳的厚度应为超热电子射程的一半, 即产生的超热电子在球壳内损失部分能量, 穿过氘气气体再入射到对面球壳的内壁沉积剩余的能量, 后一过程便产生均匀化效果. 由于爆推靶内爆是采用短脉宽, 致使球壳膨胀之前激光能量就沉积在靶上, 壁发生爆炸后, 约一半壳质量向外飞散, 产生的反冲压使另一半质量朝里运动^[1], 朝里运动的球壳起到一个“ 高压活塞 ”的作用, 把吸收的能量转换为“ 高压活塞 ”的向心动能, 同时产生很强的冲击波. 通过氘气气体, 使氘气气体压缩并产生高温, 冲击波过后, 球壳由于惯性继续向心运动, 产生进一步压缩. 而烧蚀型内爆靶是通过等熵过程达到高压压缩, 它是依靠激光烧蚀靶丸外表面, 推进层向外喷射物质的同时, 产生一个向内的压力压缩靶丸, 使之产生

内爆.

爆推靶是激光聚变研究早期(20 世纪 70 年代中)就使用的一种靶型. 美国劳伦斯利弗莫尔实验室^[2,3]于 1976 年在 Argus 钽玻璃激光器(2TW)进行了激光聚爆实验, 靶面功率密度高于 $10^{16}\text{W}/\text{cm}^2$, 得到 $Y_{\text{n}} = 2.2 \times 10^8$, 观测 x 射线谱热部分电子温度 T_{e} 为 1keV, 超热尾部温度 T_{h} 为 21.7keV, 同时在 Janus 钽玻璃激光器(0.4TW)也进行了类似的内爆实验, 观测到 $Y_{\text{n}} = 2 \times 10^6$, $T_{\text{e}} = 0.7\text{keV}$, $T_{\text{h}} = 11.3\text{keV}$. 由该内爆实验也证实了吸收主要是非经典共振过程吸收机制. 为了证明用强激光对靶作球形对称加热可能产生消融驱动压缩, 美国 KMS 聚变公司 Charatis 等首次进行了用强激光(照射玻璃球激光强度 $I_{\text{L}} = 4 \times 10^{13}—4 \times 10^{15}\text{W}/\text{cm}^2$)照射充 DT 玻璃球壳压缩内爆实验, 实验观测 $Y_{\text{n}} = 2.5—4 \times 10^5$, x 射线热部分温度 $T_{\text{e}} = 1.3\text{keV}$. 我国于 1986 年在“ 神光 I ”钽玻璃激光器(0.5TW)进行了激光聚爆实验^[4], 靶面功率密度 $5 \times 10^{15}\text{W}/\text{cm}^2$, 观察到 $Y_{\text{n}} = (2—5) \times 10^6$, $T_{\text{e}} = (0.7—1)\text{keV}$, $T_{\text{h}} = (10—20)\text{keV}$. 2000 年在“ 神光 II ”进行激光直接驱动爆推型和烧蚀型 DT 气体的玻璃

^{*} 国家高技术研究发展计划(批准号 863-416-3)资助的课题.

微球内爆实验,由激光参数理论估计超热电子能量 E_{he} 和超热电子温度 T_{h} 不一定很准,所以必须从实验上进一步对 E_{he} 和 T_{h} 进行诊断,为爆推型靶内爆出中子提供参数.在基频光直接驱动烧蚀靶内爆实验中,“神光 II”激光器以 8 束激光打靶,靶面功率可达 4TW,为了抑制超热电子预热,获得较高中子产额 Y_{n} ,激光强度 I_{L} 不宜太低, I_{L} 选太高,超热电子多,反而致使中子产额降低,因此,理论上限制 $I_{\text{L}} = (2\text{--}10) \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$,通过实验上测量超热电子总量,为烧蚀型内爆出中子选择合适 I_{L} 提供参数.通过这两种内爆靶型超热电子、SRS 等非线性过程诊断,为推断不同条件下超热电子产生机理提供实验依据^[5,6].

2. 实验条件、诊断方法

2.1. 实验条件

实验是在“神光 II”上进行的.激光波长为 $1.053\mu\text{m}$,靶室南北方向各有 4 束激光,不同靶型或同类靶型以不同聚焦方式均以 45° 入射到靶面,打靶透镜为 $f/3$,直接驱动内爆靶的类型及其靶的参数见表 1.两种内爆靶型入射激光参数见表 2.

表 1 靶型及靶参数		
靶型	玻璃球壳	
	直径 $D/\mu\text{m}$	壳厚度 $d/\mu\text{m}$
爆推靶	100—220	0.5—1
烧蚀靶	490—510	0.8—1

表 2 激光参数			
靶型	激光能量	激光脉宽	功率密度
	E_{L}/J	τ/ps	$I_{\text{L}}/\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$
爆推靶	$\leq 100/\text{束}$	≤ 100	$\geq 1.5 \times 10^{16}$
烧蚀靶	$\leq 600/\text{束}$	≤ 1000	$(1\text{--}10) \times 10^{14}$

2.2. 诊断方法

采用十道滤波-荧光谱仪以滤波荧光法对连续 x 射线谱分光^[7],测量玻璃球靶发射 1.5—250keV 硬 x 射线谱,由 32 路积分幅度数码变换器记录 FFS 各道信号,结合各道响应函数进行解谱^[8],由谱的斜率推断 T_{h} .

根据理论推导可知:满足 Maxwell 分布的电子

发射 x 射线谱强度的对数随光子能量的变化是一条直线,所以玻璃球壳靶发射初始 x 射线谱可以用下式表示:

$$K(E) = K(E) \exp\left(a - \frac{E}{T_{\text{h}}}\right), \quad (1)$$

$K(E)$ 为光子强度 ($\text{keV}/\text{keV}\cdot\text{sr}$), $K(E)$ 为与发射谱分布相关的系数 ($\text{keV}/\text{keV}\cdot\text{sr}$),在 $K(E)$ - E 的半对数坐标图中, $\ln K(E) + a$ 是截距,斜率为 $-\frac{1}{T_{\text{h}}}$, T_{h} 是超热电子温度,单位为 keV.

将 x 射线谱强度对光子能量积分,可以得出谱仪在探测方向单位立体角内某能量区间玻璃球壳靶发射硬 x 射线总能量 E_{hx} (keV/sr),即

$$E_{\text{hx}} = \int_{E_1}^{E_2} K(E) \text{d}E. \quad (2)$$

根据靶材、靶结构和 T_{h} ,由北京应用物理与计算数学研究所计算超热电子转化为硬 x 射线转换率 η_1 ,穿透率 η_2 ,来推算超热电子总能量 E_{he} ($\text{keV}/4\pi$),即

$$E_{\text{he}} = E_{\text{hx}}/\eta_1\eta_2, \quad (3)$$

其中 E_{hx} 和 η_1, η_2 均是单位立体角的量.

2.3. 测量装置的几何位置

FFS 谱仪在靶室几何位置见图 1.谱仪安放在靶室北西 70° 水平方向.

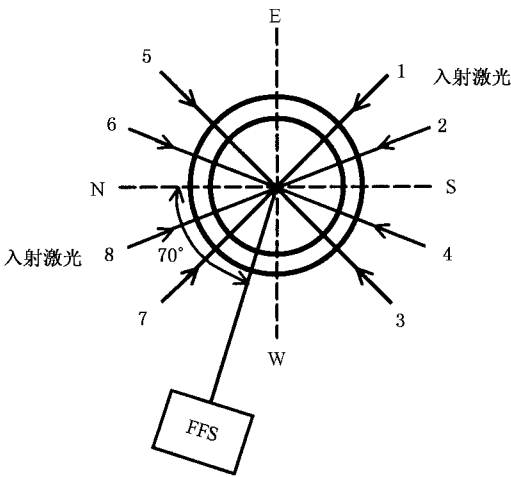


图 1 内爆靶 FFS 在靶室的几何位置

在各束激光的背向安放 LPE-1A 型激光能量计测量背向 SRS 能量,安放 $1.06\mu\text{m}$ 全反片和 HWB4 黑玻璃保证 SRS 有好的信噪比,由比对信号的强弱可推断超热电子产生机理.

3. 实验结果与分析讨论

3.1. 爆推靶超热电子产生的特征

爆推靶超热电子产生的特征分别示于图 2 ,图 3 表 3 和图 4 中.由表 3 和图 2 看出 :在相同的激光调焦方式下(四心) ,爆推靶产生的超热电子总量和超热电子温度 T_h 随着激光能量 E_L 或 I_L 的增加而增大 ,其中 00040705 发虽然激光总能量较大 (733.9J) ,但是激光出现双峰 ,而且激光脉冲宽度 τ 较大(150ps) ,致使 I_L 降低 ,同时该发各路能量极不平衡(最低的第 8 路 $E_L = 26.9J$,最高的第 5 路 $E_L = 130.85J$) ,因而照射到玻璃球壳各方向的激光强度极不均匀 ,致使超热电子加热玻璃球壳极不均匀 ,因而显示出这发爆推靶产生的超热电子总能量、温度和 中子产额明显下降.另一方面从图 3 看出 ,在相同的调焦方式下 , Y_n 随超热电子能量的增加而明显增加 ,证明了内爆原理与超热电子直接有关.表 3 中 B86012 发是“ 神光 I ”南北双路钨玻璃($1.06\mu m$)激光对打爆推靶的结果 ,由于激光强度比 2001 年“ 神光 II ”8 路对打的激光强度($\geq 1.5 \times 10^{16} W/cm^2$)要低 1.5 量级左右 ,因而超热电子总量、温度和中子产额也大大降低.

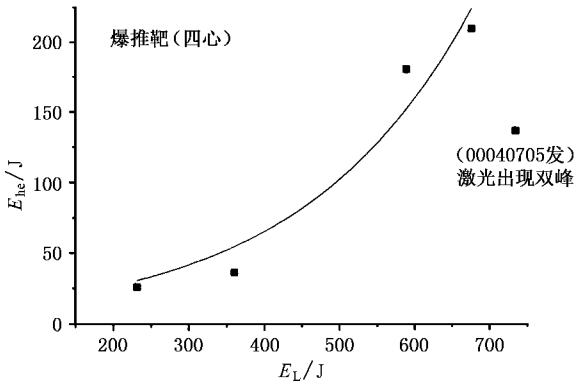


图 2 超热电子能量与激光能量的关系

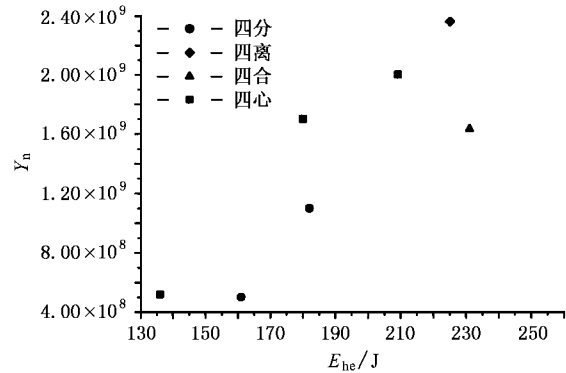


图 3 中子产额与超热电子能量的关系

表 3 爆推靶超热电子特征

打靶编号	E_{tar}/J	τ/ps	$E_{he}/J \cdot 4\pi$	$\eta_{he}/\%$	T_h/keV	T_{hh}/keV	T_e/keV	Y_n	调焦
00040703	587.94	~ 98	180	30	36.81	117	2.47	1.7×10^9	四心
00040705	733.90	~ 150	136	20	29.58	133	1.86	5.1×10^8	四心
00041106	675.40	84—114	209	30	39.06	181	2.24	2.0×10^9	四心
00041108	884.4	85—91	225	25.3	40.49	133	1.74	2.36×10^9	四离
00041209	940.00	80—104	231	25	34.96	186	2.20	1.63×10^9	四合
00041210	694.80	110—119	182	27	32.20	135	3.26	1.1×10^9	四分
00041211	685.10	~ 85	166	24	31.81	125	3.57	5.0×10^8	四分
B86012	100—120	80—100	1.5—8	1.6—6.6	10—14			$10^4—10^6$	神光 I

注 :表中符号 E_{tar} , τ , E_{he} , T_h , T_{hh} , T_e 和 Y_n 分别表示靶面激光能量、激光脉宽、超热电子总能量、超热电子温度、超超热电子温度、热电子温度和中子产额 ,而超热电子份额 $\eta_{he} = E_{he}/E_L$.四心 :4束激光分别聚球心 ;四分 :4束激光分别聚前球壳 ;四合 :南北激光四束分别聚球壳一点 ;四离 :4束激光分别聚后球壳 .

由图 4 看出 ,爆推靶在目前“ 神光 II ”8 路高强度($\geq 1.5 \times 10^{16} W/cm^2$)钨玻璃激光照射下 ,产生硬 x 射线谱具有三温(T_e , T_h , T_{hh} ,分别为热部分 1.5—10keV、超热部分 10—100keV、超超热部分 10—250keV 硬 x 射线谱的斜率推算的)分布 ,超热电子

温度 T_h 为 30—40keV(与理论计算的 $T_h \geq 30keV$ 接近) 热电子温度 T_e 为 1.5—3.5keV ,比“ 神光 I ”双路激光对打时($I_L \geq 10^{15} W/cm^2$)分别高 3 倍和 2—3 倍 ,超超热电子温度 T_{hh} 约 116—186keV .由于爆推靶照射的激光强度较高 ,局部可能出现热斑 ,功率密

度 I_L 高达 $\text{几} \times 10^{17} \text{ W/cm}^2$,因此爆推靶产生的硬 x 射线谱较硬.

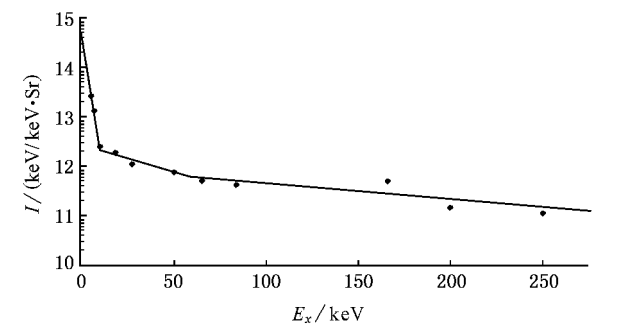


图 4 爆推靶典型 x 射线能谱曲线

3.2. 烧蚀靶超热电子产生的特征

烧蚀靶产生超热电子的特征分别示于表 4、图 5 中.由表 4 和图 5 看出,烧蚀靶在离焦 5R 方式 ($I_L \approx 1 \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$) 下,超热电子总量、温度和 中子产额均随着 E_L 或 I_L 的增大而增大,由表 4 看出,在大致相同激光能量下,中子产额、超热电子总能量和温度均随着离焦的减小而增大,这是因为离焦减小,照射玻璃球靶表面激光强度增大,致使超热电子产额和能量增大,与以往实验结论^[9,10]是一致的.说明目前“神光 II”烧蚀靶实验的激光强度产生的超热电子预热效应不厉害,也充分证明了爆推靶是依靠超热电子加热实现内爆的.

表 4 烧蚀靶超热电子特征(表中符号的物理意义与表 3 相同)

打靶编号	E_{tar}/J	τ/ps	$E_{\text{he}}/\text{J} \cdot 4\pi$	$\eta_{\text{he}}/\%$	T_{h}/keV	T_{e}/keV	Y_{n}	离焦
00041916	3583.1	800—890	82	2.2	24.61	1.54	3.90×10^8	4R
00042017	3682.7	892—970	140	3.7	21.53	1.53	3.54×10^8	3R
00042018	2231.4	878—940	14.6	0.65	13.62	1.04	2.20×10^7	5R
00042119	2210.1	825—872	15.6	0.71	13.11	1.17	3.71×10^7	5R
00042120	2062.1	837—920	12	0.59	10.43	1.13	1.60×10^7	5R
00042121	3656.0	886—970	37	1.0	18.44	1.28	8.10×10^7	5R
00042122	3694.0	919—990	48	1.3	16.15	1.26	1.33×10^8	5R

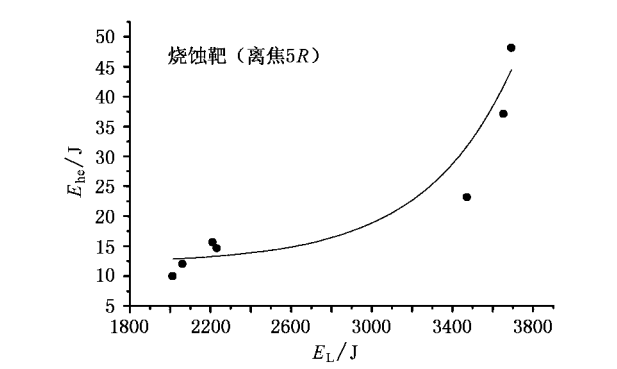


图 5 超热电子与激光能量的关系

烧蚀靶在目前“神光 II”8 路中等激光强度 [$(2\text{—}10) \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$] 照射下,产生硬 x 射线谱类似于爆推靶的三温分布,超热电子温度为 10—20keV,热电子温度为 1—1.5keV,明显低于爆推靶,为爆推靶的 1/2—1/3,超超热电子温度为 50—180keV (只有在离焦 3R—4R 情况下才出现).由文献介绍^[11],从实验和粒子模拟结果在参数较宽范围: $\lambda = 0.53\text{—}1.06 \mu\text{m}$; $I_L = 10^{13}\text{—}10^{17} \text{ W/cm}^2$; $Z = 3(\text{CH})\text{—}79(\text{Au})$,

表现出超热电子温度 T_{h} 与 I_L^2 的关系基本一致,即 $T_{\text{h}} \propto (I_L \lambda^2)^a$, $a \approx 0.3\text{—}0.4$,表明超热电子温度 T_{h} 随着 I_L 的增大而增大.比较表 3 和表 4,也看出,爆推靶产生超热电子比烧蚀靶大得多,这主要是由于烧蚀靶 I_L 降低两个量级,致使产生超热电子减少,该结果与文献 9,10 的结论是一致的.

3.3. 超热电子产生机理的推断

理论上认为,在 ICF 研究中,产生超热电子的主要原因来自于激光光波在靶等离子体中通过非线性集体过程(受激 Raman 散射、双等离子体衰变、共振吸收等参量不稳定性)激发的电子等离子体波(即称 Langmuir 波),激发的电子等离子体波具有较高的相速度,这些波在激发过程中要“俘获”电子,被俘获的电子获得与波相等的平均速度 $v_p = \omega_k/k$ (k 为波数, ω_k 为电子等离子体波频率),被俘获的电子随波一起运动,随着被激发的 Langmuir 波的幅度增大,被俘获的电子数目不断增加,通过“波破碎”或 Landau Damping,把能量交给电子,使电子获得能量,于是产

生超热电子.

许多实验证明,在小焦斑(高功率密度下)基频光条件下,其超热电子产生的主要机制为共振吸收^[11].在不同条件下超热电子产生的机制不同,它与入射激光强度、波长、焦斑直径、等离子体密度分布及靶的形状大小等均有密切关系^[12],通过测量不同类型靶超热电子和非线性过程产生的能量特征,来推断超热电子产生机理.

由 LPE-A 激光能量计测量爆推靶、烧蚀靶产生 SRS 占激光能量份额分别为 $\leq 0.14\%$ 和 $\leq 0.54\%$, 超热电子份额 η_{he} 分别为 $(25-30)\%$ 和 $(0.5-4)\%$, 说明该两种靶产生超热电子的主要机制不是 SRS, 因为玻璃球壳靶产生的等离子体向开放空间飞散, 即当 $r \rightarrow \infty$, $n_e \rightarrow 0$, 因此空间等离子体密度梯度增大, 致使小于 $n_c/4$ 区域空间等离子体尺度变小, 因而不易激发 SRS. 对于爆推靶在高强度 ($\geq 1.5 \times 10^{16}$ W/cm²) 长波长、短脉冲、小焦斑的情况下, 产生超热电子的主要机制是共振吸收^[9,10], 其次可能还有双等离子体衰变 TPD.

对于 TPD 参量不稳定性阈值^[13] I_L (W/cm²) 为

$$I_L \approx 5 \times 10^{15} (L_n \lambda_0)^{-1}, \quad (4)$$

式中 L_n 为等离子体密度标长.

对于爆推靶, $L_n \approx 70-160 \mu\text{m}$, 由(4)式推算 TPD 阈值 $I_L \approx (2.9-6.6) \times 10^{13}$ W/cm². 由此推断爆推靶产生超热电子机理还有 TPD. 实验测量爆推靶的能量总吸收效率 $29\%-34\%$, 与超热电子份额 η_{he} ($25-30\%$) 相比, 证明了爆推靶是以非经典吸收(共振吸收)为主, 爆推靶吸收的激光能量是以超热电子能量沉积为主, 与北京应用物理与计算数学研究所

计算总吸收能量的 $3/4$ 为超热电子能量沉积, 在误差范围内接近.

对于烧蚀靶, $L_n \approx 320 \mu\text{m}$, 由(4)式推算 TPD 阈值 $I_L \approx 1.45 \times 10^{13}$ W/cm². 因此推断烧蚀靶(玻璃球壳靶)在 $(2-10) \times 10^{14}$ W/cm² 基频激光强度照射下产生超热电子的主要机制可能是双等离子体衰变, 其次可能还有共振吸收和 SRS. 实验测量烧蚀靶的总吸收效率 $29\%-32\%$, 与超热电子份额 η_{he} ($0.5-4\%$) 相比, 证明了烧蚀靶是以经典吸收为主, 所以超热电子所占的份额很小.

4. 结 论

1. 在相同调焦方式下, 爆推靶产生超热电子 E_{he} 随 E_L (或 I_L) 的增大而增大. 中子产额 Y_n 明显随 E_{he} 的增大而增高, 证明爆推靶是依靠超热电子加热实现内爆.

2. 在相同离焦方式下, 烧蚀靶产生超热电子 E_{he} 和中子产额随 E_L 的增大而增大, E_{he} 和 Y_n 随离焦 R 的减少而增大. 说明目前“神光 II”中等激光强度下产生的超热电子预热效应不厉害.

3. 爆推靶产生的超热电子总能量 E_{he} , T_e , T_h , T_{hh} 均比烧蚀靶大.

4. 爆推靶产生超热电子的主要机理是共振吸收, 其次还有 TPD 和 SRS. 烧蚀靶产生超热电子主要机理是 TPD, 其次还有共振吸收和 SRS.

对“神光 II”运行人员的协作, 胡仁宇院士、彭瀚生研究员和各级领导的支持, 表示感谢.

[1] Rosen M D *et al* 1979 *Phys Fluids*, B **22** 1398

[2] Ahlstrom H G, Holzrichter J F, Manes K R *et al* 1976 LLL UCRL 77943 (Revision 1) 9

[3] Storm E K, Holzrichter J F, Ahlstrom H G *et al* 1975 *Bull. Am. Phys. Soc.* **20** 1266

[4] Zheng Zhi-jian *et al* 1989 *High Power Laser and Particle Beams* **1** 139 (in Chinese) 郑志坚等 1989 强激光与粒子束 **1** 139

[5] Bai B *et al* 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 726 (in Chinese) 白波等 2001 物理学报 **50** 726

[6] Jiang X H *et al* 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 35 (in Chinese) 蒋小华等 1998 物理学报 **47** 35

[7] Qi L Y *et al* 1993 *High Power Laser and Particle Beams* **2** 309 (in Chinese) 祁兰英等 1993 强激光与粒子束 **2** 309

[8] Li S W *et al* 1995 *High Power Laser and Particle Beams* **7** 205 (in Chinese) 李三伟等 1995 强激光与粒子束 **7** 205

[9] Qi L Y *et al* 1993 *High Power Laser and Particle Beams* **3** 415 (in Chinese) 祁兰英等 1993 强激光与粒子束 **3** 415

[10] Qi L Y, Zheng Z J, Mei Q Y *et al* 1996 *Nuclear Science and Techniques* **7** 2

[11] Rubenchik A and Witkowski S 1991 *Physics of Laser Plasma* p206—207, p363—384

[12] Qi L Y *et al* 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 492 (in Chinese) 祁兰英等 2000 物理学报 **49** 492

[13] Rubenchik A and Witkowski S 1991 *Physics of Laser plasma* (Elsevier Science Publishers) p435—446, p375—377

Hot electron diagnostic for the first-time $1\omega_0$ light driven implosion performance on “ Shengguang II ”

Qi Lan-Ying¹⁾ Chen Jia-Bin¹⁾ Jiang Xiao-Hua¹⁾ Liu Shen-Ye¹⁾ Zheng Zhi-Jian¹⁾ Zhang Bao-Han¹⁾
Ding Yong-Kun¹⁾ Li Chao-Guang¹⁾ Wang Da-Hai¹⁾ Zhu Sen-Chang²⁾ Zhang Jia-Tai²⁾

¹⁾(National Key Laboratory of LaserFusion , CAEP , Mianyang 621900 , China)

²⁾(Beijing Institute of Applied Physics and Computational Mathematics , Beijing 100088 , China)

(Received 6 May 2001 ; revised manuscript received 13 March 2002)

Abstract

The implosion experiments of laser directly driven filled DT glass capsules were performed on the “ Shengguang II ” facility by ways of exploding pushing and ablating. Hard x-ray spectra in the energy range of 1.5—250keV were measured using the multi-channel filter-fluorescence spectrometer(FFS). The fractions and temperatures of hot electrons for exploding pusher targets are $\eta_{he} = 25\%—30\%$ and $T_h = 30—40\text{keV}$, respectively, and those for ablation targets are $\eta_{he} = 0.5\%—4\%$ and $T_h = 10—25\text{keV}$, respectively, which were inferred from the fluxes and slopes of high energy x-rays. The characteristic of producing hot electrons for various types of targets was given under different incident laser energy E_L and spot-adjustment. It has been proved by comparing hot electron fractions of exploding pusher targets with the measured energy absorption efficiency η_a , which is between 29% and 34%, that energy deposition of hot electrons is the major energy absorption mechanism for exploding pusher targets. The experimental results show that neutron yield increases with hot electron energy E_{he} , which shows that the implosion of exploding pusher target happens mainly by hot electrons heating the glass ball shell.

Keywords : 1.053 μm laser , implosion , hot electron , exploding pusher target ablation target

PACC : 5250J , 5225 , 5240

* Project supported by the National High Technology Development Program of China(Grant No.863-416-3).