

用 1.05, 0.53 μm 激光辐照 Au 盘靶的 吸收规律与数值模拟^{*}

刘慎业 傅立斌 张海英 丁耀南 刘忠礼
郑志坚 唐道源 陈涵德

(西南核物理与化学研究所, 成都 610003)

(1994 年 7 月 11 日收到)

离散等离子体卡计测量等离子体能量, 研究 $\sim 0.8 \text{ ns}$, 1.05, 0.53 μm 激光辐照 Au 盘靶产生的 Au 等离子体对激光的吸收规律. 报道了吸收与激光入射角度和功率密度关系的实验结果. 根据分析实验结果提出了吸收的定标规律. 实验结果与一维平面等离子体模型模拟结果相符.

PACC: 5250J; 1240P

1 引 言

强激光产生的等离子体对激光的吸收非常复杂, 它受光束质量、光波传播、靶结构、受激散射、成丝诸多因素影响. 研究吸收的实验是等离子体物理学工作者感兴趣的, 因为实验结果可用于检验有关这些机制的计算模型, 并寻找众多因素中起支配作用的证据. 吸收实验也是激光聚变研究者感兴趣的, 因为激光聚变系统的效率直接依赖于激光吸收, 激光聚变成就的预测和高增益激光聚变装置的设计依赖于吸收的角度关系, 靶的行为依赖于靶实际吸收的激光功率密度. 因此, 研究激光在等离子体中的吸收规律是当前惯性约束核聚变研究工作中重要课题之一.

早在 70 年代, 美国 Lawrence Livermore 实验室在 Janus, Argus 和 Nova 激光装置上执行的惯性约束核聚变计划^[1-7], 平面靶以及后来的腔靶实验^[8]表明短波长、低功率密度、高 Z 靶材对激光吸收、内爆均有一定的优越性. 我国近 10 年来做了大量 1.05 μm 激光平面靶、球靶以及腔靶实验^[9, 10]. 但系统研究大能量 1.05, 0.53 μm 激光 45° 入射, 以及变激光入射角 Au 盘靶吸收的实验尚未见报道.

本工作的目的是利用“神光 I”装置系统地研究大能量基频光、倍频光辐照平面靶的吸收规律. 实验研究激光平面靶吸收与激光入射角、功率密度的关系, 找出定标规律. 比较基频光与倍频光打靶的吸收效率, 证明倍频光打靶的优越性.

此项工作的完成可以为“神光 II”腔靶激光注入条件提供参考数据. 研究吸收效率与

^{*} 国家高技术研究发展计划资助的课题.

激光波长、入射角、激光功率密度的关系, 以及定标规律对寻找最佳激光靶耦合条件具有重要意义. 针对我国特定的激光装置建立一套我国自己完整的实验数据对今后的总体实验是重要的. 文是提出简单的理论模型模拟实验的结果是作者一种新的尝试. 作者依据理论仔细分析实验结果提出了激光吸收的定标规律.

2 实验及结果

实验使用等离子体卡计测量等离子体能量. 等离子体卡计以热释电探测器作灵敏元件, 热释电探测器对散射光、X 射线、离子均灵敏. 卡计设计了散射光能量和等离子体能量加散射光能量探测道, 等离子体信号是这两道信号的差分. 热释电探测器输出电压信号正比于灵敏面接收的能量. 由探测器输出电压幅度和标定灵敏度可计算等离子体卡计灵敏面接收的等离子体能量. 通过有限点等离子体能量角分布测量、曲线拟合、拟合公式对 4π 空间积分, 可得总的等离子体能量 E_{pl} . 定义单位立体角内等离子体能量为其角分布 $D(\theta, \varphi)$,

$$D(\theta, \varphi) = dE/d\Omega, \quad (1)$$

θ 是探测点和靶点连线与靶面法线的夹角. 探测面占空间立体角 $\Delta\Omega_i$ 一般很小, 以有限元代替式中的微元, 得

$$D(\theta, \varphi) \approx \Delta E_i / \Delta\Omega_i, \quad (2)$$

φ_i, θ_i 是探测点方位角, ΔE_i 由记录到的探测器信号和探测器灵敏度给出. 卡计灵敏面 A 占空间立体角为

$$\Delta\Omega_i = A/R^2, \quad (3)$$

将 $\Delta E_i, \Delta\Omega_i$ 代入(2)式得探测点角分布值. 多点测量, 用最小二乘法进行多项式拟合, 得角分布 $D(\theta, \varphi)$, 4π 空间积分得总的等离子体能量 E_{pl}

$$\begin{aligned} E_{\text{pl}} &= \iint D(\theta, \varphi) d\Omega \\ &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi D(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta. \end{aligned} \quad (4)$$

实际测量认为等离子体喷射沿靶面法线对称分布, 即 φ 角对称, 所以有

$$E_{\text{pl}} = 2\pi \int_0^\pi D(\theta) \sin\theta d\theta. \quad (5)$$

靶场给出靶面激光能量 E_l , 可计算出吸收效率 η_a ,

$$\eta_a = E_{\text{pl}}/E_l. \quad (6)$$

实验用靶是标准 Au 盘靶. 厚度为 15 μm 、直径为 700 μm 的 Au 盘靶用 C_8H_8 薄膜支撑在 Cu 环上, 结构如图 1 所示.

Au 盘靶实验全部在“神光 I”上完成. 表 1 是激光辐照 Au 盘靶的辐照条件. 图 2 是 Au 盘靶实验装置.

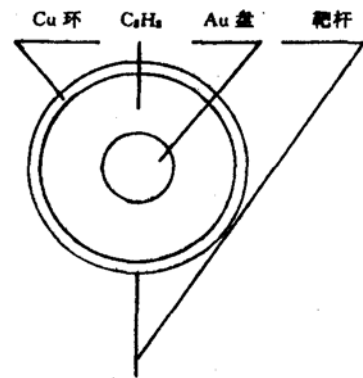


图 1 盘靶结构

表 1 激光辐照 Au 盘靶条件

波长 $\lambda_l/\mu\text{m}$	脉宽 τ_l/ns	入射角 θ/deg	F/数	能量 E_l/J	离焦量 $\Delta l_l/\mu\text{m}$	激光功率密度/ $10^{14}\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$
1.05	0.99—0.78	10, 30, 45	1.7	50—500	510, 340	0.73—5.0
0.53	~0.8	0, 10, 30, 45	1.7	20—200	600, 340	0.57—5.2

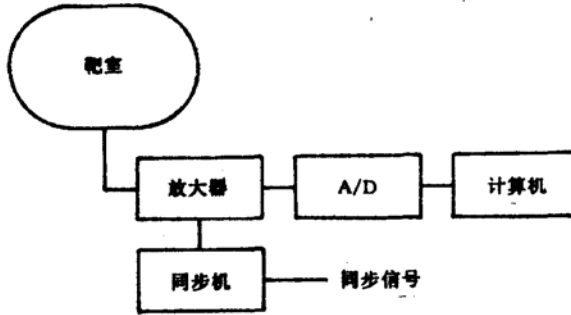


图 2 实验装置方框图

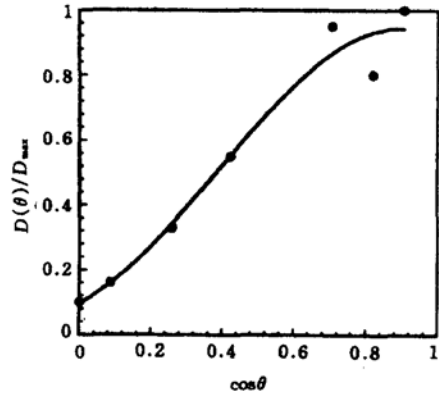


图 3 等离子体能量角分布

等离子体卡计固定在圆弧支架上, 然后与靶室固定. 等离子体卡计探测平面位于水平面下, 夹角约为 5° . 各探测器在支架上的角度布置如表 2 所示. 卡计输出信号经放大器放大再输入 A/D 变换器数字化后进入计算机处理. $1.05, 0.53 \mu\text{m}$ 激光 Au 盘靶实验打靶分别为 12 和 13 发. 图 3 是实验测得的 940309020 发 $0.53 \mu\text{m}$ 激光辐照 Au 盘靶 Au 等离子体能量角分布. 表 3—6 是 Au 等离子体激光吸收的实验结果. 诸表中 I_{14} 是以 $10^{14}\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 为单位的激光功率密度.

表 2 探测器在靶室内支架上的布置

角度 θ/deg	25	35	45	65	75	85	95	105	115	135	145
卡计编号	65	71	68	62	70	83	76	90	91	57	87

表 3 $1.05 \mu\text{m}$ 激光 Au 盘靶实验吸收与功率密度的关系

$I_{14}(45^\circ\text{入射})$	0.72	1.8	2.3	2.4	3.6	4.2	4.4	4.8
实验 $\eta_s/\%$	36	31	26	27	21	23	22	25
定标规律/ $\%$	48	36	34	33	29	28	27	26

表 4 $1.05 \mu\text{m}$ 激光吸收角度关系

$\theta(I_{14})$	$10^\circ(5.8)$	$10^\circ(4.3)$	$30^\circ(4.9)$	$45^\circ(4.2)$	$45^\circ(4.4)$	$45^\circ(4.8)$
实验 $\eta_s/\%$	43	48	40	23	22	25
定标规律/ $\%$	53	58	43	28	27	26

表 5 $0.53 \mu\text{m}$ 激光吸收功率密度关系

$I_{14}(45^\circ\text{入射})$	0.57	1.1	1.39	4.4	4.5	4.6
实验 $\eta_s/\%$	78	69	57	49	48	39
定标规律/ $\%$	72	62	58	43	42	42

表 6 0.53 μm 激光吸收角度关系

$\theta(I_{14})$	$0^\circ(5.2)$	$0^\circ(7.2)$	$10^\circ(4.8)$	$10^\circ(5.0)$	$30^\circ(6.1)$	$30^\circ(4.2)$	$45^\circ(4.4)$	$45^\circ(4.8)$
实验 $\eta_s/\%$	83	79	69	71	53	52	49	48
定标规律/ $\%$	77	72	76	76	59	64	43	43

3 一维平面等离子体吸收模型

一维平面流体可由下列三个方程描述:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2 + P) = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}[\rho(\epsilon + 0.5u^2 + \epsilon_1)] + \frac{\partial}{\partial x}[\rho u(\epsilon + 0.5u^2 + \epsilon_1) + Pu + F] = \frac{\partial I}{\partial x} - W_r. \quad (9)$$

(7)–(9)式分别是质量方程、动量方程和能量方程。 W_r 是辐射能耗项。直接求解此方程比较困难。为了问题简化, 这里提出一个简单的等离子体吸收模型, 尝试解释实验结果。

3.1 模型假设

本模型假设:

- 1) 激光脉冲为方形脉冲。
- 2) 电子离子同温, 晕区电离度由电晕模型描述, 晕区电子温度随时间慢变。
- 3) 晕区为空间等温一维平面等离子体, 晕区等离子体密度为指数分布

$$\rho = \rho_s \exp[-(x - x_s)/L], \quad (10)$$

$L = \alpha C_s t$ 是密度梯度标长, $\alpha = 0.2$ 是修正值, $C_s = [(Z^* + 1) T_e / m_i]^{0.5}$ 是等温声速, x_s 和 ρ_s 是声速面位置和密度, 激光回转点是声速点, $\rho_s = \rho_c \cos^2 \theta$ 。声速面内是定态区。

- 4) 激光的吸收机制主要是逆韧致吸收, 伴随有受激布里渊散射(SBS)。SBS 主要发生在等离子体稀薄区, SBS 占激光能量份额由拟合公式描述^[2],

$$\eta_{\text{SBS}} = 0.15 + 0.1 \log(I_{14}). \quad (11)$$

3.2 激光光路

图 4 是激光斜入射 Au 盘靶时, 激光在平面等离子体中的光路示意图。下面计算光路。激光在等离子体中的色散方程为

$$\omega_l^2 = \omega_{pe}^2 + c^2 K^2. \quad (12)$$

由色散方程得光路各点的导数值 dy/dx 为

$$\frac{dy}{dx} = \frac{k_y}{k_x} = -\sin\theta / (\cos^2\theta - n_e/n_c)^{0.5}. \quad (13)$$

光路曲线长度微元 ds 为

$$ds = [1 + (dy/dx)^2]^{0.5} dx. \quad (14)$$

将(13)式代入(14)式, 得

$$ds = (1 - n_e/n_c)^{0.5} dx / (\cos^2 \theta - n_e/n_c)^{0.5}, \quad (15)$$

n_e, n_c 分别是电子密度和临界面电子密度.

3.3 激光吸收份额

由模型假设激光吸收的主要机制是逆韧致吸收, 即

$$dI/ds = -K_{IB}I. \quad (16)$$

由文献[11], 逆韧致吸收系数 K_{IB} 等于

$$K_{IB} = \frac{2.91Z^* \ln \Lambda (n_e/n_c)^2}{\lambda_{\mu m}^2 (1 - n_e/n_c)^{0.5} T_{keV}^{1.5}} \quad (1/cm), \quad (17)$$

Z^* 是电离度, $\lambda_{\mu m}$ 是以 μm 为单位的激光波长, T_{keV} 是以 keV 为单位的电子温度. 由文献[7], $\ln \Lambda = \ln(840 \lambda_{\mu m} T_{keV})$.

(16)式沿光路积分得

$$\Delta I = I_0 [1 - \exp(-\int K_{IB} ds)]; \quad (18)$$

定义吸收为

$$\eta_a = \Delta I / I_0, \quad (19)$$

将(18)式代入(19)式, 得

$$\eta_a = 1 - \exp(-\int K_{IB} ds), \quad (20)$$

式中的积分等于

$$\int K_{IB} ds = \int \frac{2.91Z^* \ln \Lambda (n_e/n_c)^2}{\lambda_{\mu m}^2 (1 - n_e/n_c)^{0.5} T_{keV}^{1.5}} ds. \quad (21)$$

将(15)式代入(20)式, 得

$$\int K_{IB} ds = \int_{x_s}^{\infty} \frac{2.91Z^* \ln \Lambda (n_e/n_c)^2 (1 - n_e/n_c)^{0.5}}{\lambda_{\mu m}^2 (1 - n_e/n_c)^{0.5} T_{keV}^{1.5} (\cos^2 \theta - n_e/n_c)^{0.5}} dx = \frac{8}{3} \cdot \frac{2.91Z^* \ln \Lambda c_s t \cos^3 \theta}{\lambda_{\mu m}^2 T_{keV}^{1.5}}. \quad (22)$$

将(22)式代入(20)式, 得

$$\eta_a(t) = 1 - \exp\left[-\frac{1.552 \ln \Lambda Z^* c_s t \cos^3 \theta}{\lambda_{\mu m}^2 T_{keV}^{1.5}}\right]. \quad (23)$$

因为吸收是时间相关的, 所以测量的吸收份额应是 $\eta_a(t)$ 的时间平均值,

$$\eta_a = 1 + \frac{\lambda_{\mu m}^2 T_{keV}^{1.5} \{ \exp[(-1.552 \ln \Lambda Z^* c_s \tau \cos^3 \theta) / \lambda_{\mu m}^2 T_{keV}^{1.5}] - 1 \}}{1.552 \ln \Lambda Z^* c_s \tau \cos^3 \theta}. \quad (24)$$

考虑 SBS 散射, 则吸收系数等于

$$\eta_a = (1 - \eta_{SBS}) \{ 1 + [\exp(-B) - 1] / B \}, \quad (25)$$

$$B = 1.552 \ln \Lambda Z^* c_s \tau \cos^3 \theta / \lambda_{\mu m}^2 T_{keV}^{1.5}.$$

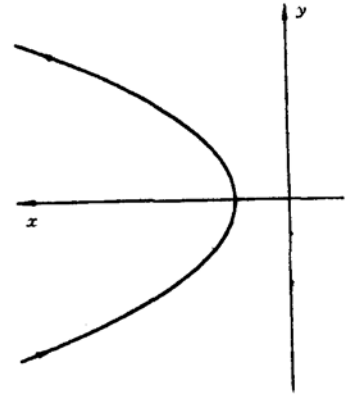


图 4 激光在等离子体中的传播

3.4 晕区电离度的处理

晕区电离度的计算使用文献[11]中介绍的电晕模型,其结果是

$$Z^*(T_{\text{keV}}) = Z \{1 - \exp[-19(I_{(Z^*)}/Z^{4/3} - 10^{-5})^{0.625}]\} - 0.5, \quad (26)$$

$$I_{(Z^*)} = 0.75 T_{\text{keV}} [6.47 + \ln(T_{\text{keV}}/I_{(Z^*)}^{11/3})], \quad (27)$$

其中 Z^* 是原子电离度, Z 是原子序数, $I_{(Z^*)}$ 是原子 Z^* 的离化势以 keV 为单位. 迭代求解 $I_{(Z^*)}$, 电子温度 $T_{e(Z^*)}$ 对这两组数据进行拟合, 可得 Au 元素电离度 Z^* , 电离能 EI 与温度的拟合公式是

$$\begin{aligned} Z^*(T_{\text{keV}}) &= 0.8 T_{\text{keV}} - 62.35 T_{\text{keV}}^{0.5} + 188.62 T_{\text{keV}}^{1/3} - 83.24 T_{\text{keV}}^{1/4}, \\ EI(T_{\text{keV}}) &= -7.14 T_{\text{keV}} + 114.0 T_{\text{keV}}^{0.5} - 70.85 T_{\text{keV}}^{1/3}, \end{aligned} \quad (28)$$

Z^* 的拟合误差不大于 10%, $EI(T_{\text{keV}})$ 的拟合误差不大于 20%.

3.5 吸收效率 η_a 和电子温度 T_e 的自洽解

流体力学方程(7)–(9)中取 $\partial/\partial t = 0$, 即得定态区方程

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}[\rho u(\epsilon + 0.5u^2 + \epsilon_1) + Pu + F] = \frac{\partial I}{\partial x} - W_r. \quad (30)$$

由(29)式得

$$\rho u = \rho_s c_s. \quad (31)$$

由(30)式得

$$\rho u(2.5c_s^2 + 0.5u^2 + \epsilon_1) + F_{\text{in}} = -\eta_a \eta_X I_1, \quad (32)$$

η_X 是 X 射线转换效率. 倍频取 $\eta_X = 0.45$, 基频取 $\eta_X = 0.40$. 烧蚀区温度较低, 忽略 ϵ_1 , 在 $x = x_s$ 处, 即声速面处,

$$\rho = \rho_s, \quad u = c_s, \quad (33)$$

因此由(32)式得

$$F_{\text{in}} = -3\rho_s c_s^3 - \eta_a \eta_X I_1. \quad (34)$$

由声速面向烧蚀区流进的热流 F_{in} 一方面以 X 射线的形式发射, 另一方面驱动冲击波和加热热波波头的物质. 文献[12]的计算表明, 为了维持晕区等温激光吸收, 必须提供 $\rho_s c_s^3$ 的能量流. 如果靶材是重材料 Au, 那么 Au 外层电子不断剥离消耗的能量是不可忽略的, 即能量方程(9)中的 ϵ_1 项不可忽略, 对该项积分得电离能的增长率 EI 为

$$EI = \rho_s c_s \epsilon_1, \quad (35)$$

$$\epsilon_1 = EI_{(Z^*)}/Am_p, \quad (36)$$

A 是原子量, m_p 是质子质量. 按能量守恒, 等离子体吸收的能量流 $4\rho_s c_s^3 + \eta_a \eta_X I_1 + \rho_s c_s \epsilon_1$ 一方面向烧蚀区输运热流 $3\rho_s c_s^3 + \eta_a \eta_X I_1$, 另一方面向晕区提供能流 $\rho_s c_s^3 + \rho_s c_s \epsilon_1$ 维持晕区等温, 即

$$\eta_a I_1 = 3\rho_s c_s^3 + \rho_s c_s^3 + \rho_s c_s \epsilon_1 + \eta_a \eta_X I_1, \quad (37)$$

其中

$$\begin{aligned} \rho_s &= \rho_c \cos^2 \theta \\ &= (1.84 \times 10^{-3} \cos^2 \theta / \lambda_{\mu\text{m}}^2) A / Z^* \quad (\text{g/cm}^3), \end{aligned} \quad (38)$$

$$c_s = [(Z^* + 1) T_e / A m_p]^{0.5}. \quad (39)$$

将(25), (37), (39)式写成数值表达式, 有

$$\eta_a I_{14} = \eta_a \eta_X I_{14} + 1.1 \left[\frac{0.2 (Z^* / A)^{0.5} T_{\text{keV}}^{1.5}}{\lambda_{\mu\text{m}}^2} + \frac{0.05 E I_{\text{keV}} T_{\text{keV}}^{0.5}}{\lambda_{\mu\text{m}}^2 (Z^* A)^{0.5}} \right] \cos^2 \theta, \quad (40)$$

$$c_s = 3.1 \times 10^7 [(Z^* + 1) T_{\text{keV}} / A]^{0.5} \quad (\text{cm/s}), \quad (41)$$

$$B = 1.552 \ln \Lambda Z^* c_s \tau \cos^3 \theta / (\lambda_{\mu\text{m}}^2 T_{\text{keV}}^{1.5}), \quad (42)$$

$$\eta_a = (1 - \eta_{\text{SBS}}) \{1 + [\exp(-B) - 1] / B\}, \quad (43)$$

$$\ln \Lambda = \ln(840 \lambda_{\mu\text{m}} T_{\text{keV}}). \quad (44)$$

对方程(40)–(44)迭代求解, 可自洽地求出给定入射条件($\lambda_{\mu\text{m}}, \theta, I_{14}$)和靶材下的电子温度 T_{keV} , 电离度 Z^* 和吸收系数 η_a . 我们编制了一个程序 Absorption 对上述方程求解. 计算结果将在下面给出.

4 实验结果与计算结果的比较

图 5 和 6 中的曲线是程序 Absorption 计算的结果, 数据点是实验点. 计算参数在图题中已列出. 理论与实验比较符合较好.

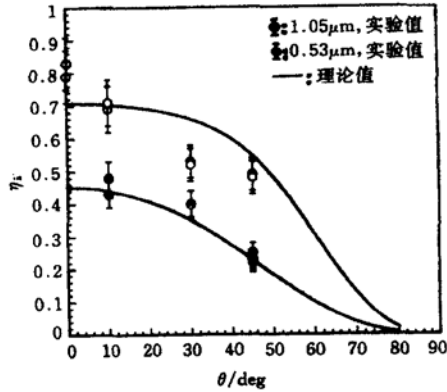


图 5 1.05, 0.53 μm 激光 Au 盘靶实验吸收的角度关系与理论计算的比较 计算条件为 $\lambda_1 = 1.05$ 和 $0.53 \mu\text{m}$, $Z = 79$, $\tau = 0.8 \text{ ns}$, $I_1 = 5 \times 10^{14} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$

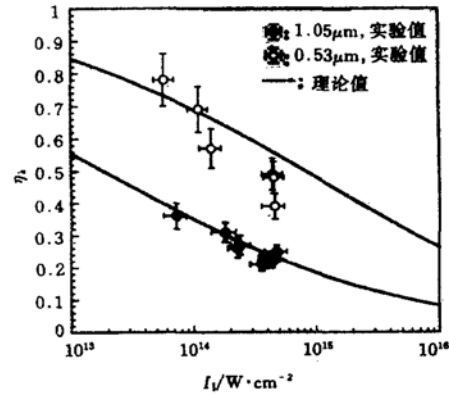


图 6 1.05, 0.53 μm 激光 Au 盘靶实验吸收的功率密度关系与理论计算的比较 计算条件为 $\lambda_1 = 1.05$ 和 $0.53 \mu\text{m}$, $Z = 79$, $\tau = 0.8 \text{ ns}$, 入射角 $\theta = 45^\circ$

为了检验我们的程序, 将 Lawrence Livermore 实验室 1983 年报道的 $0.53 \mu\text{m}$ 的 Au 平面实验结果^[2]与程序 Absorption 计算的结果在图 7 和图 8 中也作了比较, 程序 Absorp-

tion 的计算条件与他们的实验条件一致. 可见我们的计算结果也与他们的实验结果符合. 因此, 作者提出的理论模型是恰当的.

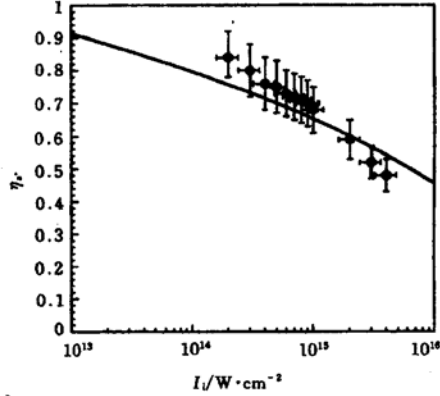


图 7 Lawrence Livermore 实验室 0.53 μm 激光 Au 盘靶实验吸收的功率密度关系^[2]与 Absorption 程序计算结果的比较 计算条件为 $\lambda_1 = 0.53 \mu\text{m}$, $Z = 79$, $\tau = 0.7 \text{ ns}$, 入射角 $\theta = 0^\circ$

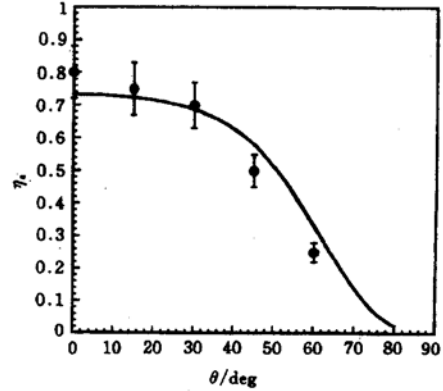


图 8 Lawrence Livermore 实验室 0.53 μm 激光 Au 盘靶实验吸收的角度关系^[2]与 Absorption 程序计算结果的比较 计算条件为 $\lambda_1 = 0.53 \mu\text{m}$, $Z = 79$, $\tau = 0.7 \text{ ns}$, $I_1 \approx 3 \times 10^{14} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$

5 分析与讨论

现有的理论和实验均表明短波长、长脉冲、高 Z 靶材的激光吸收主要是逆韧致吸收. 由(40)式近似有

$$T_e \propto (I_{14} \lambda_{\mu\text{m}}^2 / \cos^2 \theta)^{2/3}. \quad (45)$$

因此激光功率密度高, 电子温度高, 电子离子碰撞频率低, 逆韧致吸收下降. 激光波长短, 电子温度低, 激光能进入更高密度区, 电子离子碰撞频率高, 逆韧致吸收增加. 激光斜入射时, 激光不能到达临界面, 在密度 $n_t = n_c \cos^2 \theta$ 回转, 激光未能进入高密度区, 电子离子碰撞频率低, 所以吸收下降. 上述以逆韧致吸收为主的模型计算和实验均证明了这一点. 图 5—8 清楚地表明无论是 1.05 μm 激光 Au 盘靶实验, 还是 0.53 μm 激光 Au 盘靶实验, 理论计算与实验结果均符合得较好, 文献[2]中的实验结果也支持模拟结果. 因此, 本文提出的计算模型是合理可信的.

当然, 仔细比较, 计算结果与实验结果仍有一定差别. 模型终究过于简单, 共振吸收、参量不稳定性 and 有限(F /数)均未包括在模型中, 这里所追求的不是精确计算, 仅是期望抓住现象的本质, 通过简单的模型得到一些定性的认识. 更精确的计算需要进一步的研究.

显然 $I_{14}, \lambda_{\mu\text{m}}^2, \cos \theta$ 是无量纲组合, 考虑 $I_{14} \rightarrow 0$, $\eta_a \rightarrow 1$, 猜想吸收 η_a 是 $I_{14}, \lambda_{\mu\text{m}}^2, \cos \theta$ 组合的函数, 即

$$\eta_a = 1 - \exp[-a(I_{14} \lambda_{\mu\text{m}}^2)^b \cos^c \theta]. \quad (46)$$

对实验数据进行拟合, 可得吸收 η_a 的定标规律

$$\eta_a = 1 - \exp[-1.7(I_{14}\lambda_{\mu\text{m}}^2)^{-0.4}\cos^3\theta]. \quad (47)$$

表 3—6 中列出定标规律(47)式给出的吸收效率,实验值与之比较,显然两者符合.表 7 和表 8 是本文提出的定标规律给出的结果与文献[2]中介绍的 0.53 μm 激光 Au 平面靶实验结果的比较,仔细比较,无论是吸收的角度关系,还是功率密度关系,两者均符合得较好.

表 7 文献[2]0.53 μm 激光 Au 平面靶吸收的功率密度关系

$I_{14}(0^\circ\text{入射})$	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	20.0	30.0	40.0
实验 $\eta_a/\%$	84	80	76	75	73	72	71	70	68	59	52	48
定标规律/ $\%$	88	84	80	77	75	73	71	69	68	57	52	48

表 8 文献[2]0.53 μm 激光 Au 平面靶吸收的角度关系

入射角($3 \times 10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$)/deg	0	15	30	45	60
实验 $\eta_a/\%$	80	75	70	50	25
定标规律/ $\%$	84	76	69	48	21

6 结 论

理论计算和实验结果表明,激光强度增加,吸收下降;激光波长短,吸收增加;激光入射角增大,吸收下降. $5 \times 10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$, 0° , 0.53 μm 激光入射 Au 盘靶吸收约 80%; $5 \times 10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$, 10° , 1.05 μm 激光入射 Au 盘靶吸收约 45%; $5 \times 10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$, 45° , 0.53 μm 激光入射 Au 盘靶吸收约 50%; $5 \times 10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$, 45° , 1.05 μm 激光入射 Au 盘靶吸收约 23%. 0.35 μm 激光 45° 入射 Au 盘靶考虑 $\eta_{\text{SBS}} \approx 5\%$, 程序 Absorption 计算估计吸收可达 85%. 包括 SBS 的逆韧致吸收理论模型计算的吸收效率与实验结果相符,模型有待完善. 强吸收时, η_a 的实验误差不大于 12%, 弱吸收时实验误差较大.

本工作理论部分曾与北京应用物理与计算数学研究所的张钧研究员和常铁强研究员作过有益的讨论,作者感谢他们的帮助. 作者还要感谢“神光 I”装置运行组的全体同志,没有他们辛勤的劳动,本工作实验部分是无法完成的.

- [1] W. L. Kruer, *Phys. Fluids*, **B3**(1991), 2356.
- [2] W. C. Mead *et al.*, *Phys. Fluids*, **26**(1983), 2316.
- [3] H. G. Ahlstrom *et al.*, UCRL - 779433.
- [4] S. S. Glaros *et al.*, UCRL - 79801.
- [5] R. A. Hass *et al.*, *Phys. Fluids*, **20**(1977), 322.
- [6] E. M. Campbell *et al.*, UCRL - 50021.
- [7] R. P. Drake *et al.*, *Phys. Fluids*, **B3**(1991), 3477.
- [8] J. D. Drake *et al.*, *Physics Today*, **45**(1992), 32.
- [9] 孙可照等, 强激光与粒子束, **5**(1993), 51.
- [10] 江文勉等, 核聚变与等离子体物理, **4**(1984), 97.
- [11] 常铁强等, 激光等离子体相互作用与激光聚变(湖南科学技术出版社, 长沙, 1991).
- [12] R. Fabbro *et al.*, *Phys. Fluids*, **28**(1985), 1463.

NUMERICAL SIMULATION AND SCALING LAW OF ABSORPTION OF GOLD DISK TARGETS IRRADIATED BY 1.05 AND 0.53 μm LASER

LIU SHEN-YE FU LI-BIN ZHANG HAI-YING DING YAO-NAN LIU ZHONG-LI
ZHENG ZHI-JIAN TANG DAO-YUAN CHEN HAN-DE

(Southwest Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003)

(Received 11 July 1994)

ABSTRACT

Au disk targets were irradiated with ~ 0.8 ns, 1.05 and 0.53 μm laser. The intensity and angular dependence of absorption were studied experimentally. The experimental results of absorption by laser-produced plasma are introduced in this paper. The measured absorption with plasma calorimeters accord with one-dimension planar simulation. The experiment and theory show that collision absorption is the main absorption mechanism. A scaling law of absorption has been suggested based on the careful analysis of the experimental results.

PACC: 5250J; 1240P