

文章编号: 100124322(2004)1221558205

滤片2XRD 探测系统响应时间测量^X

孙可煦, 江少恩, 易荣清, 黄翼翔, 崔延莉, 李朝光

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心,四川 绵阳 621900)

摘 要: 研究了软 X 射线能谱仪探测道系统(系统包括 X 射线二极管(XRD)、SUJ250210 电缆和不同频带示波器)的响应时间。实验利用上海激光联合实验室的 20TW 激光器激光(激光能量约 20J,脉冲宽度约 1ps)打金箔靶产生的 X 光,用 XRD 探测系统测量,记录示波器有 TK684C,TK694C 和 WM8500 等。将实验数据进行了线性拟合和比对分析。滤片2XRD 探测系统的响应时间随偏压升高而加快,随传输电缆长度的增加而变慢,因此测量快信号过程时,应提高探测器偏压,缩短传输电缆,选择宽频带高采样率示波器,以便减少系统的响应时间,减小信号失真程度。

关键词: 软 X 射线; 能谱; X 射线二极管; 响应时间

中图分类号: TN151.1 **文献标识码:** A

ICF 实验研究中,激光等离子体发射软 X 光的时、空、谱测量极其重要^[1,2],除了能谱绝对强度测量十分重要外,能谱发射的时间过程也十分重要。随着激光器升级完成,通过多路激光注入腔靶或辐照其它形式靶,可以产生高强度的 X 光。利用这种高强度的 X 光辐射源,为深入开展辐射输运、辐射烧蚀及辐射不透明度等一系列的应用研究提供了可能性。在这一系列的应用研究中,辐射场的变化过程,始终是我们十分感兴趣的。我们除了关心辐射场的空间分布外,更离不开辐射场变化的时间过程^[3,4]。

能谱测量,目前滤片法能谱仪(滤片2X 射线二极管(XRD)阵列谱仪)^[5]仍具有不可替代的作用。XRD 虽然具有响应时间快,便于作能量响应灵敏度绝对标定等优点。但是,迄今为止,我们对 XRD 的时间响应特性还没有做过系统的研究,因此,XRD 系统响应时间研究也是我们近期工作的重要内容。

1 实验条件

实验利用上海激光联合实验室 20TW 激光器激光(激光能量 1~2J,脉冲宽度约 1ps),打金箔靶,靶室真空度约 2×10^{-3} Pa。被测探测器有 X 射线二极管(XRD)和光电导探测器(GaAs)等。信号传输电缆为 SUJ25027 高频电缆,记录示波器有 TK684C,TK694C 和 WM8500 等。实验装置如图 1 所示。

2 实验结果

上海激光联合实验室的 20TW 激光器是刚建成的,缺少脉冲监测设备,打靶参数不能实时监测。20TW 激光器脉冲宽度号称 1ps,实际脉冲形状并不清楚。但是,这个量级的脉冲波形,即使偏差大一些,对我们这个实验的 XRD 响应时间测量(上百 ps),也不会有太大影响。因此,对于待测系统而言,X 光脉冲波形可看作 函数形式。

实验中,XRD 偏压 1~5kV,TK684C,TK694C 和 WM8500 三种示波器测量到的脉冲波形参见图 2。图 2(a)为 XRD 在不同偏压下三种示波器测量到的脉冲波形;图 2(b)为滤片2XRD2694C 系统在 5kV 偏压和不同电缆长度下的测量脉冲波形。

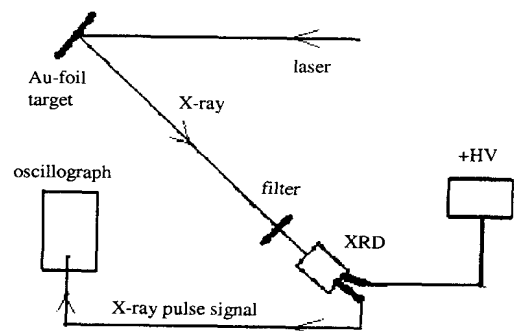


Fig. 1 Experiment set2up

图 1 实验装置示意图

X 收稿日期:2004204207; 修订日期:2004207220

基金项目:国家 863 计划项目资助课题

作者简介:孙可煦(1941—),男,研究员,主要从事激光2等离子体实验诊断工作;绵阳市 9192986 信箱。

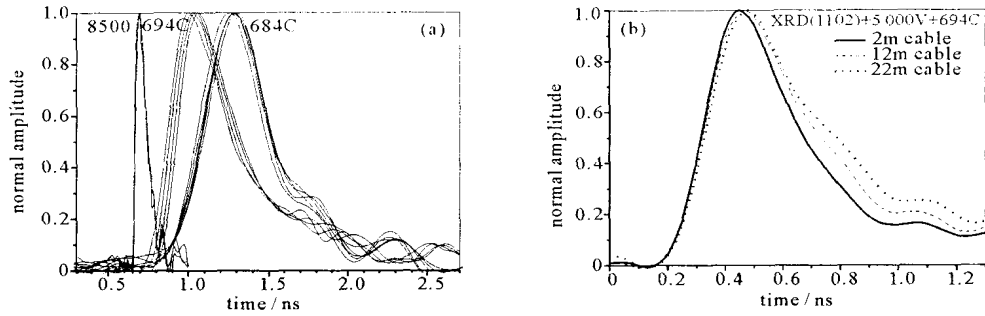


Fig. 2 (a) Pulse waveform for three filter2Xray diode (XRD) systems with 22m cable;

(b) Pulse waveform of filter2XRD TK694C system with different cable length

图 2 (a) 不同偏压下,三种滤片2XRD示波器探测系统记录脉冲波形;

(b) 滤片2XRD2694C 系统在不同电缆长度下的测量脉冲波形

3 数据分析和讨论

根据实验测量结果(如图 2),读出不同示波器测量脉冲波形的前沿和半宽度,从而给出不同示波器探测系统响应时间随 XRD 偏压变化值。下面我们分别讨论三种不同示波器探测系统测量结果。

3.1 滤片2XRD2TK684C 系统响应时间

滤片2XRD2TK684C 系统响应时间测量值列于表 1 中,由表 1 数据可见,TK684C 探测系统响应前沿在 300 ~ 320ps 之间,响应半宽度在 440 ~ 460ps 之间,这基本反映了该系统的频带特性。该系统中,XRD 和 SUJ 电缆的频率特性相对较快,它们对系统的响应时间贡献相对较小。粗略估算,XRD 的响应时间约 100ps,22m SUJ250 电缆的响应时间小于 50ps,而 TK684C 示波器的频带宽度为 1 000MHz,根据经验公式,其前沿响应时间应为 350ps,因此,该系统响应时间主要贡献者应是 TK684C 示波器。实际测量结果表明,TK684C 示波器的频带宽度好于 1 000MHz,其前沿响应小于 300ps。

表 1 滤片2XRD(N06)2684C 系统响应时间测量值与拟合值(系统电缆长 22m)

Table 1 Experiment value and linearity fit of response time for filter2XRD (N06)2684C system (cable length 22m)

XRD	voltage/ V	energy/J	front time			half width		
			exp. value/ ps	linear fit/ ps	relative error/ %	exp. value/ ps	linear fit/ ps	relative error/ %
N06	1 000	1.55	310	321	3.4	460	457	0.7
N06	2 000	1.01	307	312	1.6	454	454	0
N06	3 000	1.37	326	303	7.5	440	452	2.7
N06	4 000	1.10	305	294	3.1	462	450	1.8
N06	5 000	1.10	265	285	4.2	444	447	0.7

由表 1 中测量数据可见,总的趋势是系统响应时间随 XRD 偏压增加而变快(参见图 3)。如果我们对测量值进行线性拟合,再从测量值与拟合值的相对偏差可见,前沿测量值相对偏离拟合线小于 7.5%,而半宽度测量值相对偏离拟合线小于 2.7%。为什么会这种现象呢?分析认为这是示波器采样率不够造成的。TK684C 示波器的采样率为 5 GHz,也即每隔 200ps 采样 1 个点,对于我们的被测系统而言,系统前沿响应时间仅 300ps 左右,仅能采样 1 ~ 2 个点,必然存在较大的测量误差。系统半宽度响应时间为 450ps 左右,可采样

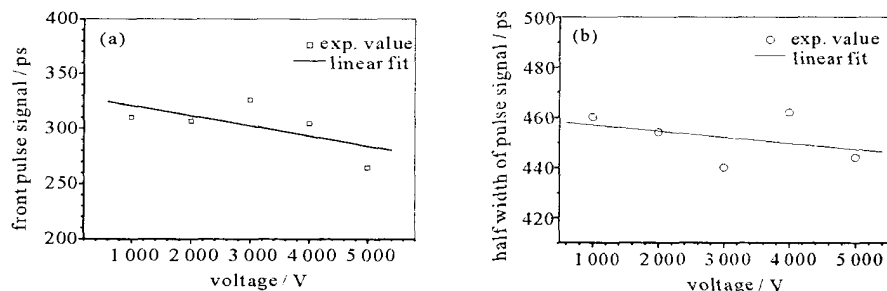


Fig. 3 Front (a) and half width (b) of pulse signal for XRD(N06) + 22m cable + 684C system vs voltage

图 3 XRD(N06) + 22m 电缆 + 684C 系统的响应前沿 (a) 和半宽度 (b) 线性拟合曲线

2~3 个点,因此,它的测量值相对误差小于前沿的测量值的相对误差。

3.2 滤片2XRD2TK694C系统响应时间

滤片2XRD2TK694C系统响应时间测量值列于表2和图4中。由表2可见,响应前沿在150~180ps之间和响应半宽度在410~420ps之间,这也基本反映了该系统的频带特性。根据响应前沿初步估算,该系统中,XRD的响应时间约100ps,22m长SUJ250电缆的响应时间小于50ps,而TK694C示波器的频带宽度为3GHz,它的自身响应时间约为120ps,因此,在该系统中,TK694C示波器的响应时间已不占主导作用,而是与XRD响应时间有同量级贡献。

表2 滤片2XRD(1102)2694C系统响应时间测量值与拟合值(系统电缆长22m)

Table 2 Experiment value and linear fit of response time for filter2 XRD(1102)2694C system (cable length 22m)

XRD	voltage/V	energy/J	front time			half width		
			exp. value/ps	linear fit/ps	relative error/%	exp. value/ps	linear fit/ps	relative error/%
1102	1 000	1.1	176	176	0	415	416.2	0.2
1102	2 000	1.0	168	167	0.6	415	414.2	0.2
1102	3 000	1.0	157	158	0.6	414	411.5	0.6
1102	4 000	0.9	149	149	0	408	409.5	0.4

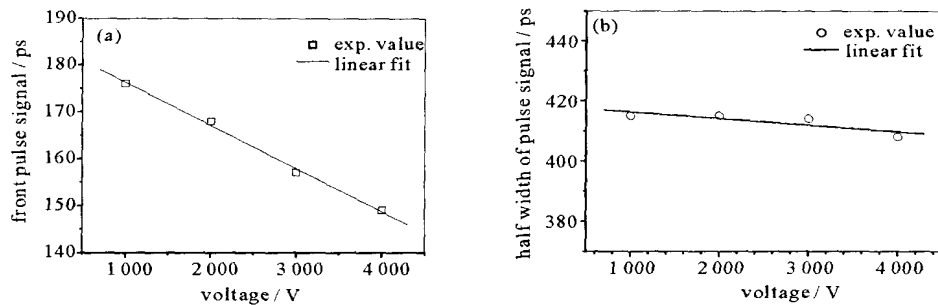


Fig. 4 Front (a) and Half width (b) of pulse signal for XRD (1102) + 22m cable + 694C system vs voltage

图4 XRD (1120) + 22m 电缆 + 694C 系统的响应前沿(a)和半宽度(b)线性拟合曲线

表2中还给出了系统响应时间的线性拟合值,由表中列出的测量值与拟合值的相对误差可见,TK694C系统响应时间测量值的相对误差远小于TK684C系统响应时间测量值的相对误差。这首先是因为TK694C示波器的采样率为10GHz,远高于TK684C示波器采样率,其次说明TK694C示波器的稳定性非常好。

3.3 滤片2XRD2WM8500系统响应时间

滤片2XRD2WM8500系统响应时间测量值列于表3和图5中,由表中数据可见,响应前沿在140~170ps之间和响应半宽度在220~250ps之间,这与该系统各个探测元件的频率特性也是基本吻合的。初步估算表明,该系统中,XRD的响应时间约为100ps,22m长SUJ250电缆的响应时间小于50ps,而WM8500示波器的响应时间为70ps,因此,该系统前沿响应时间主要贡献者应是XRD探测器。其实该系统中,XRD探测器和WM8500示波器的响应前沿仍属同量级,只是XRD对系统的前沿响应时间的贡献略大于WM8500示波器的。

表3 滤片2XRD(N06)2WM8500系统响应时间测量值和拟合值(系统电缆长22m)

Table 3 Experiment value and linear fit of response time for filter2 XRD(N06)2WM8500 system (cable length 22m)

XRD	voltage/V	energy/J	front time			half width		
			exp. value/ps	linear fit/ps	relative error/%	exp. value/ps	linear fit/ps	relative error/%
N06	1 000	1.55	180	170	5.9	255	250	2.0
N06	2 000	1.01	150	162	7.4	245	243	0.8
N06	3 000	1.37	150	153	2.0	225	236	4.7
N06	4 000	1.10	145	145	0	225	229	1.7
N06	5 000	1.10	140	136	2.9	230	222	3.6

表3中还给出了滤片2XRD2WM8500系统响应时间的线性拟合值,由表中列出的测量值与拟合值的相对误差可见,WM8500探测系统响应时间测量值的相对误差与TK684C探测系统响应时间测量值的相对误差差不多。虽然WM8500示波器的采样率为20GHz,远高于TK684C示波器采样率(5GHz),由于WM8500是双通道同时使用,对于一个探测系统而言,也仅为10GHz的采样率,而WM8500示波器的频带宽度为5GHz,因此,该探测系统的响应时间快,采样点仍然显得有限,从而显示测量值相对涨落大。

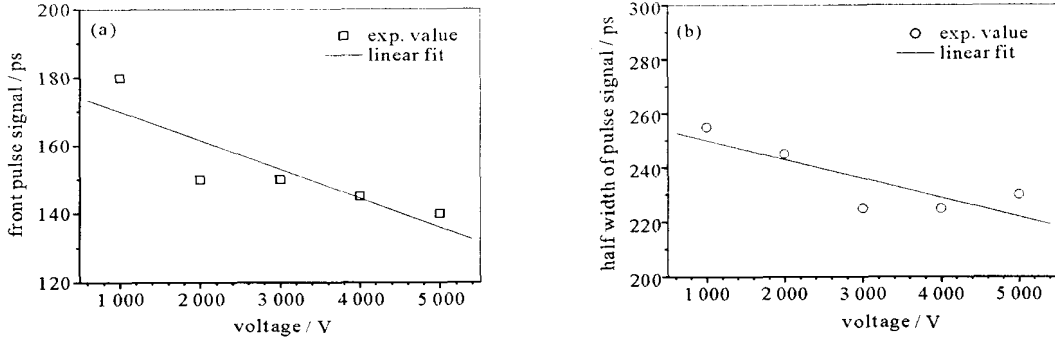


Fig. 5 Front (a) and half width (b) of pulse signal for XRD(N06) + 22m cable + WM8500 system vs voltage

图 5 XRD(N06) + 22m 电缆 + WM8500 系统的响应前沿(a)和半宽度(b)线性拟合曲线

3.4 电缆对 XRD 探测系统响应时间的影响

在 XRD 探测系统中,电缆也是影响该系统响应时间的重要因素之一。实验中,我们还做了响应时间随电缆长度的变化(参见图 2(b)),图 6 给出 XRD2示波器系统在 5 000V 偏压下随电缆长度变化曲线。图 6(a)还给出 XRD2TK694C 探测系统响应时间的线性拟合,线性拟合公式为

$$t_f = 165 + 0.9L \tag{1}$$

$$t_w = 344 + 5.3L \tag{2}$$

式中: t_f 为系统前沿响应时间(ps); t_w 为系统半宽度响应时间(ps); L 为电缆长度(m)。

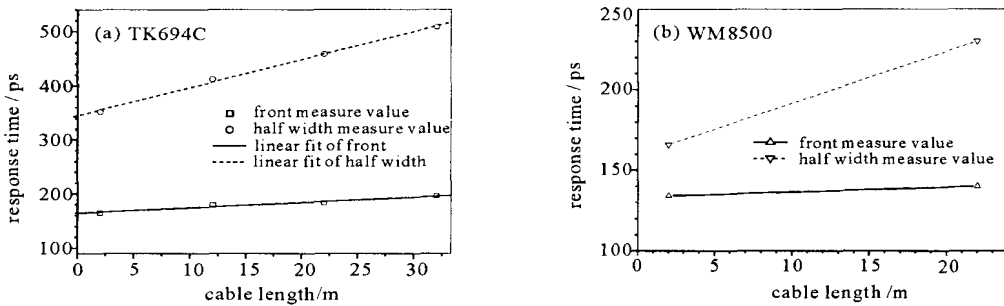


Fig. 6 Response time of filter2XRD2oscilloscope system vs cable length with 5000V partial voltage

图 6 滤片2XRD2示波器系统在 5 000 V 偏压下响应时间随电缆长度变化

根据 SUJ250 电缆手册标称值衰减系数(参见表 4),线性拟合后,SUJ250 电缆衰减系数 为

$$= 0.005349 F^{0.5383} \tag{3}$$

式中: F 为信号特性频率,单位为 MHz; 单位为 $\text{dB} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

表 4 SUJ250 电缆频率衰减系数

Table 4 Frequency attenuation coefficient of SUJ250 cable

frequency/ MHz	30	200	1 000	3 000	6 000
handbook sign/ ($\text{dB} \cdot \text{m}^{-1}$)	0.036	0.082	0.21	0.41	0.59

根据文献[6],电缆响应时间为

$$= (0.115L)^2 / 4f \tag{4}$$

式中: 是电缆响应时间(ns); L 是电缆长度(km); 是电缆衰减系数(dB/km); f 是信号频率(Hz)。计算结果列于表 5 中,与测量结果还是比较接近的。

表 5 SUJ250 电缆响应时间计算值

Table 5 Calculation value of SUJ250 cable response time

cable length/ m	(1GHz)/ ps	(3GHz)/ ps	(6GHz)/ ps	(1THz)/ ps
2	0.2	0.24	0.24	0.35
12	6.7	8.5	8.8	12.5
22	22.5	28.5	29.5	42.0
32	47.5	60.4	62.5	88.9

4 结 论

滤片2XRD 探测系统的响应时间与 XRD 所加偏压密切相关,系统响应时间随偏压升高而加快,尤其当我们用高带宽示波器观测时,由于示波器自身响应时间接近或小于 XRD 的响应时间,这种关系便更明显地表现出来。当示波器频带较低时,由于示波器自身响应时间远大于 XRD 的响应时间,系统的响应时间变化便很难体现出来。滤片2XRD 探测系统的响应时间还与信号传输电缆的长度密切相关,随着传输电缆长度增加,系统响应时间变慢。因此,当我们作时间过程研究时,尤其是作快信号测量时,应适当提高探测器的偏压,缩短传输电缆,选择宽频带高采样率示波器,以便提高系统的响应时间,减少信号的失真程度。

由于实验时间限制,实验重复不够,实验数据有限,因此,实验数据涨落较大,有待进一步实验,增加实验数据,提高数据可信度。

致谢 实验得到上海激光联合实验室的领导和 20TW 激光器运行组的工作人员谢兴龙、刘凤翹、管富义、黄关龙等同志的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 常铁强,贺贤士,于敏.高增益间接驱动惯性约束聚变物理过程[J].强激光与粒子束,1989,1(3):193—209.(Chang T Q, He X T, Yu M. Physics process of the indirect drive in inertial confinement fusion with high gain. *High Power Laser and Particle Beams*, 1989, 1(3): 193—209)
- [2] 张钧,裴文兵,隋成之,等.激光柱型腔靶 X 射线温度和 X 射线转换效率[J].物理学报,1991,40(3):424—432.(Zhang J, Pei W B, Sui C Z et al. Radiation temperature and X-ray conversion efficiency for laser cavity target. *Acta Physica Sinica*, 1991, 40(3): 424—432)
- [3] 孙可煦,易荣清,马洪亮,等.激光腔靶辐射时间特性研究[J].光学学报,1994,14(6):561—567.(Sun K X, Yi R Q, Ma H L, et al. Radiation time property for cavity target heated by laser. *Acta Optica Sinica*, 1994, 14(6): 561—567)
- [4] 孙可煦,易荣清,黄天暄,等.辐射加热金等离子体再发射时间测量[J].强激光与粒子束,1997,9(4):543—546.(Sun K X, Yi R Q, Huang T X, et al. X-ray reemission time measurement from gold material heated by radiation. *High Power Laser and Particle Beams*, 1997, 9(4): 543—546)
- [5] 孙可煦,杨建国,郑志坚.用于激光等离子体诊断的亚千 X 射线能谱仪[J].强激光与粒子束,1990,2(1):16—22.(Sun K X, Yang J G, Zheng Z J. A subkeV X-ray spectrometer used in laser plasma interaction experiments. *High Power Laser and Particle Beams*, 1990, 2(1): 16—22)
- [6] 刘庆兆.脉冲辐射场诊断技术[M].北京:科学出版社,1994.232—290.(Liu Q Z. Diagnostics technique of pulse radiation field. Beijing: Science Press, 1994. 232—290)

Response time measurement for a filter2 X-ray diode detection system

SUN Ke2xu, JIANG Shao2en, YI Rong2qing, HUANG Yi2xiang, CUI Yan2li, LI Chao2guang
(Research Center of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 9192986, Mianyang 621900, China)

Abstract: The detection system consists of filter, XRD, SUJ250210 cable and different band oscillograph. 20TW laser facility of Shanghai Laser Unite Laboratory with energy about 20J, pulse width about 1ps was used, and Au foil target irradiated by laser pulse produced X-ray emission. Note oscillograph type have TK684C, TK694C and WM8500. The linear fit and comparision analysis of experiment data are proceeded. The response time of a filter2XRD detection system become fast along with based voltage, and become solw a2 long with cable lenth. Therefor, when fast signal is measured, based voltage of detector must be increased, and cable length be short2en, and high band oscillograph be selected, in order to reduce system response time and decrease signal distortion.

Key words: Soft X-ray; Energy spectrum; X-ray diode; Response time