

## 实时离子探测器 —— 塑料闪烁体性能的实验研究\*

徐妙华<sup>1)†</sup> 李红伟<sup>1)</sup> 刘峰<sup>2)</sup> 刘必成<sup>2)3)</sup> 杜飞<sup>2)</sup> 张璐<sup>2)</sup> 苏鲁宁<sup>2)</sup>  
李英骏<sup>1)</sup> 李玉同<sup>2)</sup> 陈佳洱<sup>3)</sup> 张杰<sup>2)4)</sup>

1) (中国矿业大学(北京)理学院, 北京 100083)

2) (中国科学院物理研究所北京凝聚态物理国家实验室, 北京 100190)

3) (北京大学核物理与核技术国家重点实验室, 北京 100871)

4) (上海交通大学物理系, 上海 200240)

(2011年9月22日收到; 2011年10月13日收到修改稿)

利用静电离子加速器对实时离子探测器 —— 塑料闪烁体的特性(包括灵敏度、动态范围、能量响应, 及空间分辨等)进行了实验研究, 并对闪烁体探测器与其他传统的离子探测器的特性进行了比较. 对闪烁体在激光等离子体实验的离子束诊断中的可能应用进行了探讨. 塑料闪烁体的应用可满足高重复频率激光等离子体离子加速实验高效率运行的要求, 为实验研究提供强有力的支持.

**关键词:** 塑料闪烁体, 超短脉冲激光与等离子体相互作用, 离子加速, 离子探测器

**PACS:** 52.38.Kd, 52.70.Nc

## 1 引言

超短超强激光驱动产生的高能离子束具有加速距离短、脉宽短、亮度高、源尺寸小等突出优点, 具有广泛的应用前景<sup>[1-3]</sup>, 因此近年来获得了大量的关注和投入<sup>[4-6]</sup>. 在超强激光驱动离子加速的实验研究蓬勃开展的同时, 关于离子探测器的发展应用却较为缓慢. 目前国际上各个激光实验室大都沿用传统的离子探测器, 如固体核径迹探测器(CR39)和辐射变色薄膜(RCF)等<sup>[7,8]</sup>. 这些探测器数据处理时间较长, 在实验过程中无法及时有效地得到反馈信息, 因此大大限制了实验效率, 且不可重复使用. 最近几年, 可重复使用的成像板(IP)在实验中也得到应用<sup>[9]</sup>. 但是IP不是实时探测器, 对实验效率的提高很有限. 由此可知, 传统的离子探测器已经无法满足高重复频率激光等离子体加速实验高效运行的要求, 必须发展应用高效率的离子探测器.

目前, 应用于激光驱动离子加速实验中的实时离子探测器主要包括微通道板(MCP)<sup>[10]</sup>、法拉第杯(FC)<sup>[11]</sup>和闪烁体等. 其中, MCP的有限尺寸以及它对实验条件(如靶室真空度)的严苛要求, 使得它在实验中的应用范围受到了极大限制. 而法拉第杯一般只局限于电流或电量测量.

塑料闪烁体是有机闪烁体. 当高能离子在其内部输运时, 会在探测器内激发出次级电子, 从而导致闪烁体分子电离或激发, 在退激的过程中即会发出闪烁光. 塑料闪烁体相对于其他实时探测器具有多方面的优点. 首先, 它性能稳定, 机械强度高, 耐振动和冲击, 耐潮湿, 因此实验中应用范围广泛; 其次, 它制作简便, 容易得到大体积、大面积的闪烁体, 也能随意切割成所需的尺寸; 第三, 它对靶室的真空度基本上没有任何要求, 这相对于MCP来说大大降低了对实验条件的要求.

目前, 塑料闪烁体在激光等离子体实验中已被普遍应用于电子、高能X射线、中子探测<sup>[12-14]</sup>,

\* 国家自然科学基金青年科学基金(批准号: 10905092)、国家自然科学基金(批准号: 10925421, 11135012, 10974250, 10935002)和中央高校基本科研业务费专项资金资助的课题.

† E-mail: mhxu@cumtb.edu.cn

而在离子探测方面的应用则主要局限于利用快响应(亚纳秒)闪烁体的时间特性结合飞行时间法以测量离子束能谱<sup>[15]</sup>. 在本文中,我们利用静电离子加速器对塑料闪烁体的特性进行详细的研究和标定. 由于闪烁体的时间特性已经研究得较多,因此本文主要研究闪烁体的灵敏度、动态范围、能量响应及空间分辨等特性. 另外,对闪烁体探测器与激光等离子体实验中传统的离子探测器进行了比较,并对其在激光等离子体实验中的可能应用进行了探讨.

## 2 标定实验装置

在超强激光驱动的离子加速实验中,质子相对于重离子来说总是被优先产生和加速,因此标定实验的首要目标是获得塑料闪烁体对质子的响应. 我们在北京大学核物理与核技术国家重点实验室的 4.5 MV 静电质子加速器<sup>[16]</sup>上对塑料闪烁体探测器进行了标定. 加速器输出的质子束电流最大可达 20  $\mu\text{A}$ , 能量稳定度  $\leq 1 \times 10^{-3}$ . 实验中采用的是 Saint-Gobain 公司生产的型号为 BC430, BC408, BC422 Q 0.5% 的闪烁体, 其中心发射波长分别为 580, 425, 370 nm. 三种闪烁体的厚度分别为 300, 300, 100  $\mu\text{m}$ . 塑料闪烁体前后表面均抛光, 在前表面镀有厚度为 100 nm 的铝膜. 铝膜起到防止杂散光透射到 CCD 像面上的作用, 同时它对质子束在闪烁体内运输的影响基本可以忽略.

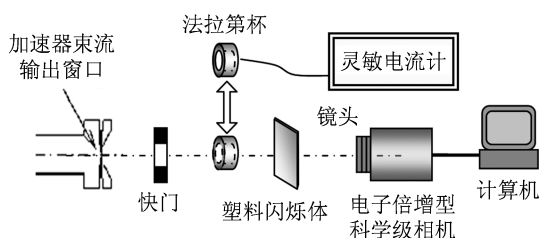


图 1 塑料闪烁体标定实验的示意图

图 1 为实验装置示意图. 在加速器的输出端后方安装了一个开门时间可灵活调节的机械快门. 在快门开启期间, 质子束可穿过快门入射到后方的闪烁体上. 在闪烁体前方采用法拉第杯来测量质子束电流大小. 电流测量完毕后, 可通过电控平移台将法拉第杯移开. 机械快门、法拉第杯、闪烁体等元件均处于真空靶室中, 以防止质子束流在大气中的衰减. 质子束在闪烁体内激发的闪烁光信号将通过真空靶室的光学窗口, 由靶室外的光学镜头收集并

成像到 CCD 像面上, 并通过计算机系统对发光图像进行采集和保存. 实验中真空靶室的光学窗口对三种闪烁体所处发光波段的透过率均大于 90%. 采用的光学镜头为 Nikkor 35 mm, f/2D 镜头组. 为了保证成像系统具有高的收集效率以及在各轮实验中的一致性, 镜头光圈在标定过程中均设置为最大. 光学成像系统的放大倍数经过标定为 0.15 倍. CCD 为 Andor 公司 IXON885 电子倍增型科学级相机 (EMCCD). 此外, 为了降低外部噪声对标定结果的影响, 我们在实验中对杂散光信号进行了严格的屏蔽.

## 3 标定结果

### 3.1 探测阈值及耐辐射性能研究

我们首先对塑料闪烁体对质子的灵敏度与入射质子累积剂量的关系进行了研究. 其中灵敏度定义为单个质子入射到闪烁体表面时所产生的 CCD 计数. 实验中可通过改变加速器输出电流强度以及机械快门的开门时间, 使得探测器表面的质子束累积剂量在多个数量级内连续变化.

图 2(a) 以 BC408 闪烁体为例, 给出了质子能量为 1.9 MeV 时 CCD 单个像素上的计数随入射到这一像素上的质子数目的变化. 结果表明, 在目前的实验参数下, 闪烁体的探测阈值约为  $1.3 \times 10^2$  个/ $(50 \mu\text{m})^2$ , 当质子剂量小于探测阈值时, 将无法在 CCD 上产生可分辨的信号. 闪烁体的发光产额在 3 个数量级范围内正比于质子累积剂量. 当累积剂量大于  $2 \times 10^5$  个/ $(50 \mu\text{m})^2$  时, 闪烁体将发生饱和现象. 图 2(b) 给出了 BC408 闪烁体的灵敏度随质子累积剂量的变化, 其中圆点的数据是探测器对 1.5 MeV 质子的灵敏度. 可以看出, 当质子剂量小于  $2.4 \times 10^5$  个/ $(50 \mu\text{m})^2$  时, 灵敏度基本保持不变. 当累积剂量大于  $2.4 \times 10^5$  个/ $(50 \mu\text{m})^2$  时, 灵敏度逐渐减小. 当剂量增大到  $6.4 \times 10^5$  个/ $(50 \mu\text{m})^2$  时, 灵敏度降低约 50%. 导致灵敏度下降的主要原因是: 当大剂量的离子束辐照闪烁体后造成辐射损伤而导致发光效率降低. 图 2(b) 中的五角星给出了质子能量为 2.5 MeV 时灵敏度随入射剂量的变化. 可以看出, 质子能量越高, 饱和阈值越小. 对于 2.5 MeV 的质子束, 其饱和阈值剂量约为  $8 \times 10^4$  个/ $(50 \mu\text{m})^2$ .

在常用的离子探测器中, CR39 探测器的灵敏

度最高,具有单粒子灵敏度,其探测阈值取决于材料的本底噪声.但是CR39的饱和阈值较低,仅约为 $2.5 \times 10^3$ 个/( $50 \mu\text{m}$ )<sup>2</sup>[17],不适合于高剂量的离子探测.TR系列成像板的灵敏度也较高,对500—2 MeV质子的灵敏度介于0.1—0.2<sup>[9]</sup>,即单个像素上只需入射5—10个质子即能产生1个计数.成像板的测量范围很宽,约为4—5个数量级<sup>[18]</sup>.RCF只对能量大于2 MeV的质子才有响应,同时其灵敏度较低,以MD-55型号为例<sup>[19]</sup>,若质子能量为2 MeV,其探测阈值约为 $4.9 \times 10^3$ 个/cm<sup>2</sup>,测量范围也仅约为2个数量级.

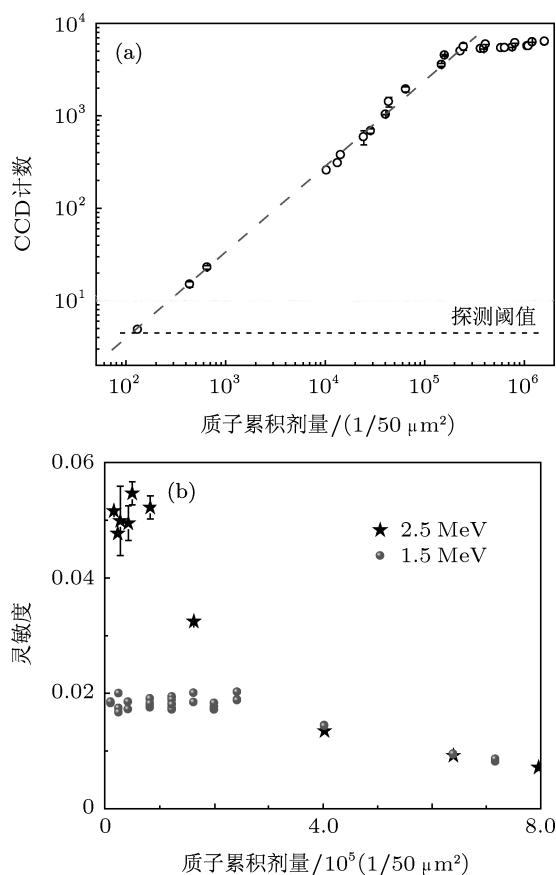


图2 (a) 闪烁体发光产额随质子累积剂量的变化(质子能量为1.9 MeV);(b) 闪烁体灵敏度随质子累积剂量的变化,其中五角星为对2.5 MeV质子的灵敏度,圆点为对1.5 MeV质子的灵敏度

根据上述比较可以看出,相对于CR39和IP来说,塑料闪烁体的灵敏度较低,但是其耐辐照性能较好,适用于高辐照量的辐射场探测.通过在实验中采用高发光效率的闪烁体和高量子效率的CCD,以及提高光学收集效率等方法,可以使闪烁体系统的灵敏度得到进一步提高.

### 3.2 动态范围

我们还对塑料闪烁体探测器的动态范围进行了研究.对于实时探测器来说,发光强度随质子通量的线性度相较于随累积剂量的线性度是实验工作者更为关心的问题.通过改变加速器的输出束流强度,并保持机械快门时间不变,我们研究了闪烁体响应的线性范围.为了防止累积剂量过大而导致辐照损伤,本轮标定中快门时间均设置得较短.

图3中用方块给出了实验中质子能量为1.9 MeV的情况下闪烁体发光强度(CCD计数)随质子通量的变化.从数据中可以看出,当质子通量处于 $9.8 \times 10^8$ 个/cm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>和 $3.2 \times 10^{11}$ 个/cm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>之间时,闪烁光强度与质子通量呈现出很好的线性关系.图3中的五角星数据取自文献[20],其入射质子能量为30 MeV,闪烁体厚度为500  $\mu\text{m}$ ,纵轴给出了闪烁体的发光强度(光电倍增管计数).从文献[20]中的数据中可以看出,当质子通量处于 $2.7 \times 10^7$ 个/cm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>和 $5.8 \times 10^8$ 个/cm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>之间时,闪烁光产额与通量之间呈现很好的线性关系.

综合本实验中的数据及文献[20]中的数据,我们可以得出结论:塑料闪烁体探测器的动态范围至少为4个数量级,在4个数量级范围内发光强度随质子通量呈现出高度的线性响应.这对于将闪烁体应用到束流密度范围很大的激光等离子体相互作用领域的实验研究中是很有利的.

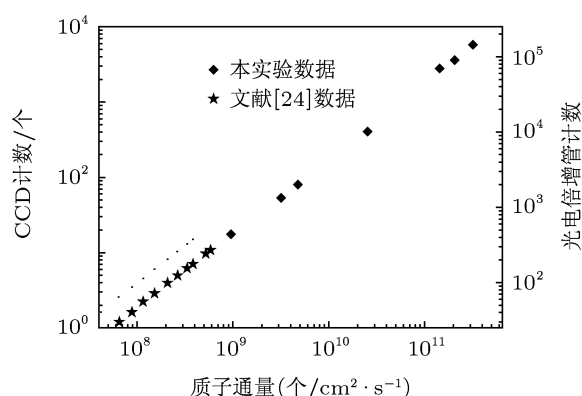


图3 闪烁体发光强度随入射质子通量的变化 其中方块数据为本实验中的数据,纵轴为CCD计数;五角星数据取自文献[20],纵轴为光电倍增管计数

### 3.3 空间分辨率

在将塑料闪烁体作为成像探测器时,其空间分辨率是一个关键参数,需要进行实验标定.在塑料闪烁体前竖直放置了直径为5 mm,厚度为500  $\mu\text{m}$ ,

边缘锐利的小孔,对穿过小孔的质子束在闪烁体中激发的闪烁光的空间强度分布进行了测量,如图4(a)所示.图4(b)给出了发光图像横向的强度分布曲线.

通过对小孔左侧边缘处强度分布曲线的拟合可得到刃边函数  $I(x)$ (如图4(b)).对刃边函数  $I(x)$  进行微分计算即可得到系统的线扩散函数  $L(x)$ (如图4(c)).通过对线扩散函数  $L(x)$  的拟合,并考虑到光学系统的放大倍数,可得出目前实验条件下塑料闪烁体系统的空间分辨率  $\Delta x$  约为  $403 \mu\text{m}$ .由于入射的质子束为准直束,因此可认为这一空间分辨率主要取决于塑料闪烁体本身的分辨率  $\Delta x_1$  和光学成像系统的分辨率  $\Delta x_2$ .下面将进行详细讨论.

闪烁体后方的光学成像系统的空间分辨率  $\Delta x_2$  取决于多方面因素.利用分辨率板对相同工作参数下的成像系统的分辨率进行了单独标定,得到  $\Delta x_2$  约为  $200 \mu\text{m}$ .由此可知:闪烁体自身的分辨率  $\Delta x_1$  约为  $346 \mu\text{m}$ .这一数值与文献[21]中给出的闪烁体的分辨率值是符合的.

塑料闪烁体自身的空间分辨率  $\Delta x_1$  主要取决于两个方面:质子束在闪烁体内传输时能量沉积区域的横向尺寸  $\Delta x_{11}$ ,以及激发的闪烁光子在闪烁体内传输时的弥散效应  $\Delta x_{12}$ .利用 Monte Carlo 离子输运程序 *srimg2010* (the stopping and range of ions in matter)<sup>[22]</sup> 可对质子在闪烁体中的输运过程和横向弥散半径进行模拟计算.其中横向弥散半径定义为容纳了90%质子的分布区域所对应的横向半径,也可认为是质子从闪烁体表面某点入射后在闪烁体内激发的荧光区域半径.根据计算结果可知,3 MeV 质子束在  $300 \mu\text{m}$  闪烁体内输运后横向弥散半径  $\Delta x_{11}$  约为  $6 \mu\text{m}$ .由此可知,  $\Delta x_{11}$  对闪烁体自身分辨率的影响是较小的,而闪烁光子在闪烁体内传输时的弥散效应  $\Delta x_{12}$  是主要决定因素.假设质子激发的闪烁光为点光源,并呈各向同性发射.由于在塑料闪烁体的前表面镀有一层薄铝膜,后向的闪烁光将在铝膜处发生镜面反射,这相当于在点光源的镜像位置存在另一发光点光源.两个点光源经过成像系统均在 CCD 像面上产生像斑并发生叠加,从而造成一定的空间弥散.此外,闪烁光子在前后表面处会发生漫反射而形成次光源,因此会进一步加剧弥散效应.上述弥散因素都是导致闪烁体空间分辨率下降的主要原因.

空间分辨率对于成像探测器来说至关重要.在

传统的非实时探测器中,CR39探测器的空间分辨率仅为微米量级.IP成像板系统的空间分辨率主要取决于IP读出仪,典型的空间分辨率为  $50 \mu\text{m}$ .通过前面的实验标定可知  $300 \mu\text{m}$  的薄塑料闪烁体自身的空间分辨率在  $350 \mu\text{m}$  左右,要差于传统的非实时离子探测器.在将塑料闪烁体应用于离子束斑的强度分布监测时,这一空间分辨率基本能满足要求.而在将塑料闪烁体作为离子谱仪的探测器时,空间分辨率将直接决定谱仪的能量分辨率,空间分辨率越高,能量分辨能力越强.因此在下步工作中应设法进一步提高闪烁体的空间分辨率.

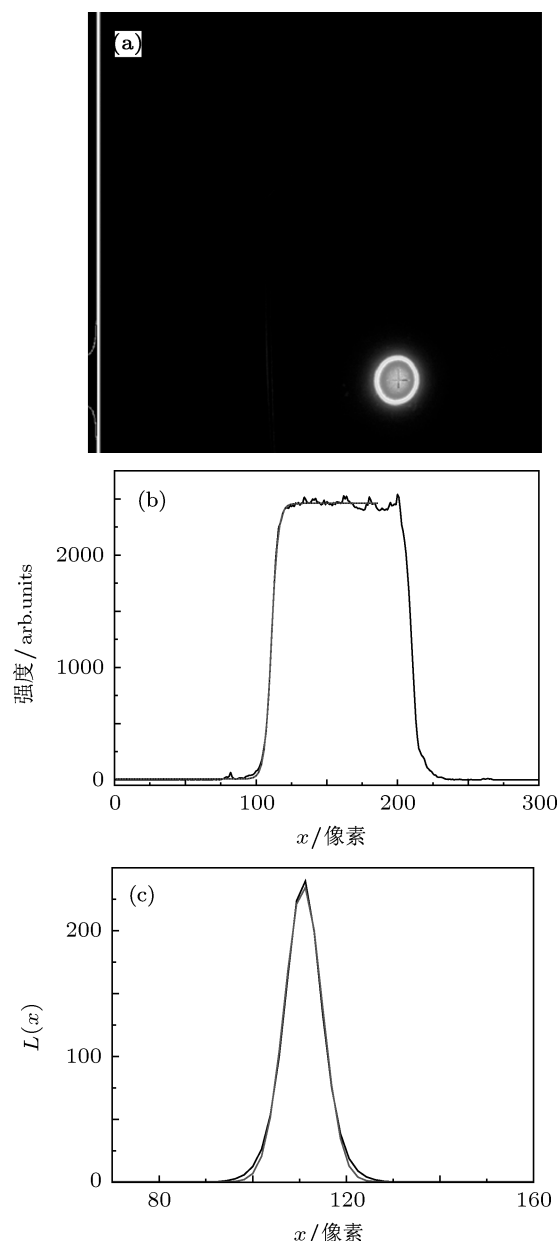


图4 (a)塑料闪烁体前放置直径5 mm的小孔时闪烁体的发光图像;(b)水平方向的光强分布曲线,拟合曲线为左侧边缘处的刃边函数  $I(x)$ ;(c)系统的线扩散函数  $L(x)$

### 3.4 能量响应曲线

与无机闪烁体不同,塑料闪烁体的发光产额与质子束在闪烁体中的能量损失并不成正比,发光效率与入射离子的能量紧密相关.因此,必须对闪烁体对不同能量的质子的灵敏度进行细致的标定.

我们在 1.0 MeV 和 2.5 MeV 之间选取了 5 个能量点,对塑料闪烁体对不同能量质子的响应进行了测量,如图 5 所示.其中,BC430 闪烁体的灵敏度以圆点表示,BC408 以五角星表示,BC422Q 0.5% 以方块表示.从图中可以看出,闪烁体对质子的能量的响应曲线呈现出非线性增长的趋势,这一结果与以往的一些实验结果是相符的 [23,24].

在将塑料闪烁体应用到超强激光驱动离子加速的能谱测量时,能量响应曲线对于准确推断离子束的能谱分布是必不可少的.上述测量结果为塑料闪烁体的能谱测量应用提供了参考数据 [25].需要指出的是,塑料闪烁体对质子的响应除了与质子能量紧密相关外,还与闪烁体的厚度紧密相关.在应用其他厚度的闪烁体时,其能量响应曲线会有显著不同,需要重新进行实验标定.

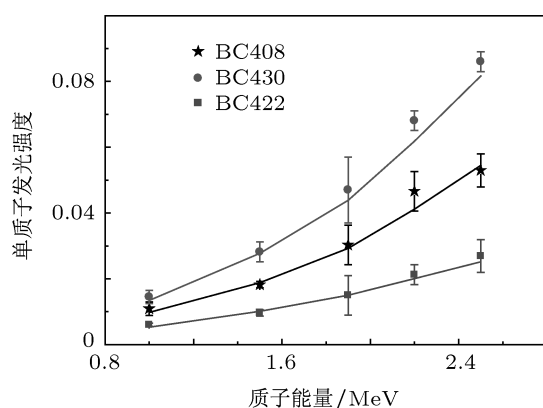


图 5 三种型号塑料闪烁体的灵敏度随入射质子能量的变化

### 3.5 工作效率比较

CR39 离子探测器由于需要经过刻蚀、清洗、读出等繁琐的过程,数据处理时间很长.即使采用

径迹自动读出系统,处理单发结果也要耗费 3—4 h,实验效率低下.对于 RCF 和 IP 成像板来说,尽管单发数据读取的时间可压缩到 10 min 左右,但是由于需要重复打开真空靶室来更换探测器,因此实验效率也较低.

本文中介绍的塑料闪烁体属于实时探测器,并且采用 CCD 和计算机系统对闪烁体发光图像进行采集记录,实现了对离子信号的实时测量,将信号处理时间削减到几分钟,从而大大提高了实验效率.此外,本套系统可以连续运行,无需多次打开真空靶室,因此尤其适用于高重复频率激光与等离子体相互作用过程中的离子加速研究.

## 4 结论

综上所述,我们在北京大学的 4.5 MV 单级静电加速器直流质子加速器上对离子实时探测器——塑料闪烁体的耐辐射性能、灵敏度、空间分辨、能量响应曲线等特性进行了实验研究,并且与传统的非实时离子探测器进行了比较.

塑料闪烁体作为一种离子束实时探测器,有着多方面的应用,如在离子加速器中可用于实时测量和监控输出束流强度、束斑尺寸形状、强度分布等.在激光等离子体实验中,目前已有的应用局限于利用快塑料闪烁体的时间特性结合飞行时间法测量能谱.作为成像探测器,还可以对塑料闪烁体在激光等离子体研究中的应用进行拓展,如通过塑料闪烁体和高分辨离子谱仪的结合,可实现对激光加速的离子束的能谱进行实时诊断 [25] 等.通过上述的拓展使用,可以及时直观地得到反馈信息,为开展高重复频率激光驱动离子加速的实验研究提供强有力的支持.

非常感谢北京大学重离子物理研究所的王建勇教授和巩玲华老师在离子加速器运行上的大力支持和协助.

- [1] Key M H, Freeman R R, Hatchett S P, MacKinnon A J, Patel P K, Snavely R A, Stephens R B 2006 *Fusion Sci. Technol.* **49** 440
- [2] Romagnani L, Fuchs J, Borghesi M, Antici P, Audebert P, Ceccherini F, Cowan T, Grismayer T, Kar S, Macchi A, Mora P, Pretzler G, Schiavi A, Toncian A, Willi O 2005 *Phys. Rev. Lett.* **95**

195001

- [3] Borghesi M, Fuchs J, Bulanov S V, MacKinnon A J, Patel P K, Roth M 2006 *Fusion Sci. Technol.* **49** 412
- [4] Hegelich B M, Albright B J, Cobble J, Flippo K, Letzring S, Paffett M, Ruhl H, Schreiber J, Schulze R K, Fernández J C 2006 *Nature*

- 439 441
- [5] Toncian T, Borghesi M, Fuchs J, d'Humières E, Antici P, Audebert P, Brambrink E, Cecchetti C A, Pipahl A, Romagnani L, Willi O 2006 *Science* **312** 410
- [6] Chen M, Pukhov A, Yu T P, Sheng Z M 2009 *Phys. Rev. Lett.* **103** 24801
- [7] Xu M H, Li Y T, Yuan X H, Yu Q Z, Wang S J, Zhao W, Wen X L, Wang G C, Jiao C Y, He Y L, Zhang S G, Wang X X, Huang W Z, Gu Y Q, Zhang J 2006 *Phys. Plasmas* **13** 104507
- [8] Fuchs J, Cowan T E, Audebert P, Ruhl H, Gremillet L, Kemp A, Allen M, Blažević A, Gauthier J C, Geissel M, Hegelich M, Karsch S, Parks P, Roth M, Sentoku Y, Stephens R, Campbell E M 2003 *Phys. Rev. Lett.* **91** 255002
- [9] Mančić A, Fuchs J, Antici P, Gaillard S A, Audebert P 2008 *Rev. Sci. Instrum.* **79** 073301
- [10] Harres K, Schollmeier M, Brambrink E, Audebert P, Blažević A, Flippo K, Gautier D C, Geißel M, Hegelich B M, Nürnberg F, Schreiber J, Wahl H, Roth M 2008 *Rev. Sci. Instrum.* **79** 093306
- [11] Cobble J A, Johnson R P, Cowan T E, Renard-Le Galloudec N, Allen M 2002 *J. Appl. Phys.* **92** 1775
- [12] Arikawa Y, Nakai M, Watari T, Hosoda H, Takeda K, Fujiwara T, Furukawa Y, Norimatsu T, Shiraga H, Sarukura N, Azechi H 2008 *J. Phys.: Conference Series* **112** 032082
- [13] Mooa S P, Wong C S 1995 *Laser and Particle Beams* **13** 129
- [14] Ting A, Moore C I, Krushelnick K, Manka C, Esarey E, Sprangle P, Hubbard R, Burris H R, Fischer R, Bainec M 1997 *Phys. Plasmas* **4** 1889
- [15] Safronov K V, Gavrilov D S, Mokicheva E S, Potapov A V, Chefonov O V 2008 *Instrum. Exp. Tech.* **51** 857
- [16] Wang J Y, Gong L H, Yang X J, Gong J H, Lu X C 2008 *Atomic Energy Sci. Technol.* **42** 229 (in Chinese) [王建勇, 巩玲华, 杨向军, 龚建华, 路祥臣 2008 原子能科学技术 **42** 229]
- [17] Gaillard S, Fuchs J, Renard-LeGalloudec N, Cowan T E 2006 *Phys. Rev. Lett.* **96** 249201
- [18] Gales S G, Bentley C D 2004 *Rev. Sci. Instrum.* **75** 4001
- [19] [http://online1.ispcorp.com/\\_layouts/Gafchromic/index.html](http://online1.ispcorp.com/_layouts/Gafchromic/index.html)
- [20] Ghergherehchi M, Afarideh H, Ghannadi M, Mohammadzadeh A, Aslani G R, Boghrati B 2010 *J. Radiat. Res.* **51** 423
- [21] Harasimowicz J, Cosentino L, Finocchiaro P, Pappalardo A, Welsch C P 2010 *Rev. Sci. Instrum.* **81** 103302
- [22] Ziegler J F, Biersack J P, Littmark U 1996 *The Stopping and Range of Ions in Solids* (New York: Pergamon)
- [23] O'Rielly G V, Kolb N R, Pywell R E 1996 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **368** 745
- [24] Saraf S K, Brient C E, Egun P M, Grimes S M, Mishra V, Pedroni R S 1988 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **268** 200
- [25] Xu M H, Li H W, Liu B C, Liu F, Su L N, Du F, Zhang L, Zheng Y, Ma J L, Neely D, McKenna P, Wang Z H, Wei Z Y, Yan X Q, Li Y T, Li Y J, Zhang J 2011 *Chin. Phys. Lett.* **28** 095203

# Experimental studies of the characteristics of a real-time ion detector—plastic scintillator\*

Xu Miao-Hua<sup>1)†</sup> Li Hong-Wei<sup>1)</sup> Liu Feng<sup>2)</sup> Liu Bi-Cheng<sup>2)3)</sup> Du Fei<sup>2)</sup>  
Zhang Lu<sup>2)</sup> Su Lu-Ning<sup>2)</sup> Li Ying-Jun<sup>1)</sup> Li Yu-Tong<sup>2)</sup>  
Chen Jia-Er<sup>3)</sup> Zhang Jie<sup>2)4)</sup>

1) (*Department of Physics, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China*)

2) (*Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

3) (*State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, Peking University, Beijing 100871, China*)

4) (*Department of Physics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China*)

(Received 22 September 2011; revised manuscript received 13 October 2011)

## Abstract

The characteristics of a real-time ion detector—plastic scintillator are experimentally investigated on an electrostatic accelerator. The sensitivity, the dynamic range, the energy response, and the spatial resolution of the plastic scintillator are calibrated, and then compared with those of other ion detectors. Meanwhile, the possibility for the plastic scintillator to be used as a diagnostic tool in laser-driven ion acceleration experiment is discussed. The plastic scintillator provides an efficient tool for online ion detection in the experiments of high-repetition-rate laser-driven ion accelerations.

**Keywords:** plastic scintillator, ultra-short laser-plasma interactions, ion acceleration, ion detector

**PACS:** 52.38.Kd, 52.70.Nc

---

\* Project supported by the Young Scientists Fund of the National Science Foundation of China (Grant No. 10905092), the National Science Foundation of China (Grant Nos. 10925421, 11135012, 10974250, 10935002), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities.

† E-mail: mhxu@cumtb.edu.cn