

# 一种新型微束斑 X 射线源的研究\*

王凯歌<sup>1,2</sup> 牛憨笨<sup>2,3</sup> 李冀<sup>3</sup> 杨勤劳<sup>3</sup> 王鹏业<sup>1</sup>

(1 中国科学院物理研究所 软物质实验室,北京 100080)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所光电子部,陕西 西安 710068)

(3 深圳大学光电子学研究所,广东 深圳 518060)

**摘要** 采用高效长寿命的 LaB<sub>6</sub> 单晶阴极电子枪作为电子束发射系统、轻便的等径双圆筒静电系统作为聚焦系统等技术研究了一种新型台式微束斑 X 射线源。通过在综合测试仪上的初步实验研究,表明该微束斑 X 射线源不仅可以连续辐射,而且可以脉冲辐射 X 射线,输出 X 射线束斑小、亮度高。此外,该台式 X 射线源具有体积小、重量轻,使用寿命长、造价低,可灵活移动等优点。

**关键词** 微束斑 X 射线源;发射系统;聚焦系统;亮度

**中图分类号** Q9870, O785

**文献标识码** A

## 0 引言

微小束斑、高亮度的 X 射线源是各类高清晰度 X 射线成像仪的关键部件,在 X 射线显微成像、生命科学、生化反应动力学、工业无损探伤、生物医学、X-CT、谱仪分析等领域的科学研究与技术应用中,发挥着举足轻重的作用<sup>[1-3]</sup>。因此,长久以来,人们一直孜孜以求地探索获取高亮度、微束斑 X 射线的方法和技术。

定义输出 X 射线束斑直径为 1 ~ 100 μm 的高亮度 X 射线源为微束斑 X 射线源<sup>[4]</sup>。目前,产生微束斑 X 射线源的主要方法是通过传统的电子束打靶 X 射线管、同步辐射 X 射线源、超快超强激光等离子体 X 射线源等与波带片、多层膜、X 射线透镜等 X 射线光学元件配合组成<sup>[5,6]</sup>。近两年也有人建议利用电子束离子陷阱 (EBIT) 或电子束离子源 (EBIS) 产生的慢速多荷离子打靶输出微束斑 X 射线<sup>[7,8]</sup>。但是,这些 X 射线源要么输出束斑偏大、亮度不够,要么造价昂贵、结构庞大、操作不便,或者兼而有之,再加上 X 射线光学元件的效率也比较低,实用高效率仅限于实验室水平,所有这些,使一般科研人员的相关研究工作困难重重,甚至无力如愿,严重限制着微束斑 X 射线光学的发展。

因而,寻求新方法、新技术,研制适宜于推广普及、经济实用、小巧轻便的高亮度微束斑 X 射线源就显得格外重要。本文主要介绍我们所研究的新型台式微束斑 X 射线源及其性能的初步测试结果。

## 1 微束斑 X 射线源的原理

众所周知,高速运动的大密度微束斑电子束轰

击金属靶面将辐射出高亮度的微束斑 X 射线<sup>[9]</sup>。依据此基本原理,本文研制的微束斑 X 射线源主要由三部分组成:电子束发射系统、电子束会聚系统,以及金属靶系统。经过大量调研与论证<sup>[10-12]</sup>,论文选用 LaB<sub>6</sub> 单晶阴极电子枪系统作为电子束发射系统,LaB<sub>6</sub> 单晶具有电子逸出功低、电子发射效率高、发射电流密度大、熔点高、化学稳定性强、工作寿命长等优点,是一种优良的电子热场致发射材料;电子束会聚系统则选用轻便的等径双圆筒静电聚焦系统,而没有选用磁聚焦系统。这是因为仪器中电子束聚焦以后,不需要控制电子束的运动并引导其偏转,而是直接轰击重金属靶面,并且静电系统结构紧凑简洁,便于灵活移动,可做到使整个仪器小巧美观。

电子束打靶产生 X 射线已经是很成熟的理论,因此,本课题的工作重点和难点就是从理论和实验上选择合适结构的电子束发射系统与合适结构的聚焦系统并使两者之间有机匹配,能够将电子束会聚为微米级甚至更小的微束斑,同时保证仪器结构轻便小巧、成本低。

如图 1 所示,微束斑 X 射线源的整体结构及工作原理是:LaB<sub>6</sub> 电子枪发射系统发射出的高密度电子束经过静电聚焦系统的会聚,形成微米甚至亚微米的电子束斑,该电子束斑与固体金属靶相互作用,产生出微束斑的 X 射线,从而形成微束斑 X 射线源。

我们研究的微束斑 X 射线源既可以连续发射 X 射

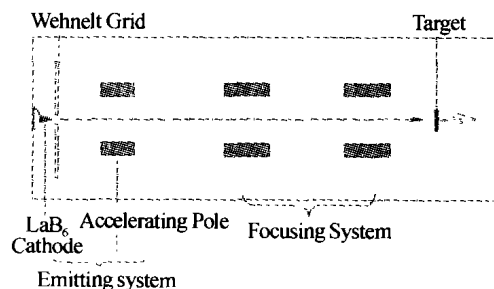


图 1 台式微束斑 X 射线源结构原理

Fig. 1 Sketch of the portable X-ray source with micro-beam

\*国家自然科学基金资助项目(69878033)

Tel: 010-82649563 Email: wangkg@hotmail.com

收稿日期: 2003-09-08

线束,也可以脉冲式辐射.

### 1.1 微束斑 X 射线源连续辐射

微束斑 X 射线源的电子束发射系统采用 LaB<sub>6</sub> 单晶电子枪热场致发射方式,LaB<sub>6</sub> 阴极在饱和状态(最佳状态)下,有效电子的发射仅仅发生在阴极尖端小平面上,并且,可以近似认为电子在平面内是均匀分布的<sup>[13]</sup>. LaB<sub>6</sub> 单晶阴极电子枪发射的总电流和阴极加热温度是密切相关的,随着加热温度的升高,LaB<sub>6</sub> 阴极发射电流会急剧上升,当晶体温度由 1700 K 上升到 2000 K 时,总发射电流由 6.7 μA 上升到 141.4 μA.

阴极发射电子束是与加热温度密切相关的,温度越高发射的电子越多,ES-423E 型 LaB<sub>6</sub> 单晶温度与加热电流(电压)之间的数值对应关系,如表 1 和图 2 所示<sup>[14]</sup>. 实验中,通过调整挑选合适的阴极加热电流与电压,调节 LaB<sub>6</sub> 阴极的温度,能够控制阴极的发射电流.

表 1 LaB<sub>6</sub> 阴极加热温度与发射电流

Temperature/K	Cathode Loading/A · cm <sup>-2</sup>	Emission/μA
1700	3.8	6.7
1750	6.8	12.0
1800	10.4	18.4
1850	20.0	35.3
1900	33.0	58.63
1950	50.0	88.4
2000	80.0	141.4

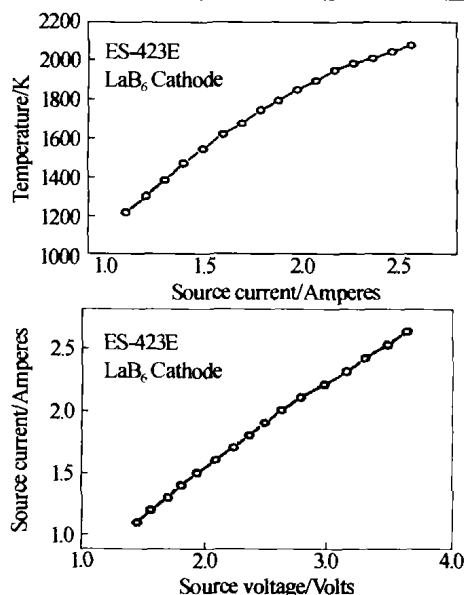


图 2 LaB<sub>6</sub> 单晶温度与加热电流(电压)之间的对应关系

Fig. 2 Heater voltage and current versus cathode temperature

在阴极饱和发射电子的条件下,我们曾根据不同电极尺寸差异大的特点,利用边界元方法与有限差分法相结合的方法计算电子光学系统的电场分布、龙格-库塔方法与蒙特-卡洛方法结合求出电子束在系统内的运动轨迹,对仪器的电子光学系统等进行了严格的理论设计<sup>[15]</sup>. 通过计算出电子束在

整个微束斑 X 射线源系统内部的运动轨迹,并对聚焦附近的点扩展函数进行分析,确定当聚焦电子束聚焦斑直径为 1.2 μm 时,微束斑 X 射线源各电极的形状、位置以及各电极电压分布等参量,以此为基础,确定了微束斑 X 射线源连续发射时系统的整体结构,电子束的运动轨迹如图 3 所示.

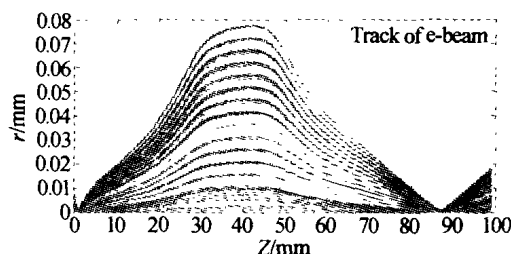


图 3 微束斑 X 射线源内电子束运动轨迹

Fig. 3 The e-beam track within the X-ray source

### 1.2 微束斑 X 射线源脉冲辐射

微束斑 X 射线源连续发射时,电子束发射系统采用 LaB<sub>6</sub> 单晶阴极和 Wehnelt 栅极技术,如图 4 所示. 理论与实验研究表明,最终轰击金属靶面辐射 X 射线的电子束流,主要由 LaB<sub>6</sub> 阴极的温度、比值  $D_w/H$ ,以及栅极偏置电压决定. 因此,栅极所加的电压,不仅能够影响轰击靶面的电子束流大小,而且是决定阴极发射的电子能否到达靶面的重要因素. 通过改变栅极电压的大小,就能够调制阴极发射到靶面电子束流的断与通,从而控制 X 射线的辐射与否. 根据这一原理,在栅极上安装脉冲控制电路,实现对栅极电压的调制,通过有效控制栅极电压的大小,控制 LaB<sub>6</sub> 阴极发射出的电子束流进入会聚系统并到达金属靶面,就可以实现 X 射线的脉冲辐射<sup>[16]</sup>.

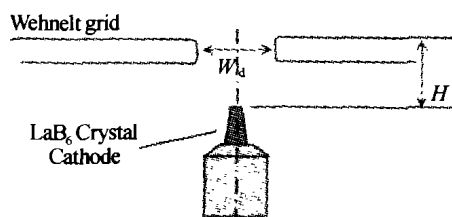


图 4 LaB<sub>6</sub> 阴极与 Wehnelt 栅极

Fig. 4 The LaB<sub>6</sub> cathode and Wehnelt grid

脉冲式微束斑 X 射线源的具体工作机制是:平时,在栅极上加足够高的负偏置电压,致使从阴极发出的电子不能通过栅极,管子处于截止状态. 在某一瞬时,在栅极上加一正脉冲电压,使其和直流负偏置电压叠加正好等于管子正常工作时的栅极偏压值,这时,管子处于正常工作状态,电子束将通过栅极进入聚焦系统,被适当会聚并轰击金属靶面辐射 X 射线. 而当正电压脉冲结束后,栅极又回到原来的直流负偏置电压,相应地管子也回到截止状态.

## 2 实验研究

微束斑 X 射线源各项性能的测试实验都是在

我们自己研制的综合测试仪中进行的,该测试仪极限真空度为  $7 \times 10^{-7}$  Pa.

X 射线焦斑大小以及亮度,是 X 射线源的重要指标,但它们都不容易直接精确测量记录,基本都是通过采用测量轰击金属靶面的电子束焦斑大小及亮度来间接反映的. 测量轰击金属靶面的电子束焦斑大小与亮度,一般采用针孔照相机拍摄焦斑的像,然后通过测量像斑的大小,再根据简化公式计算出电子束焦斑的大小<sup>[17]</sup>. 大量的理论与实验证明,电子束打靶辐射出的 X 射线亮度,与靶面电子束斑的束流密度成正比;而且,微细焦斑的电子束轰击金属靶面辐射出的 X 射线必定具有微细焦斑. 因此,我们仍将通过测量、记录轰击金属靶面电子束焦斑的大小来间接反映 X 射线的焦斑大小、测量阴极加热发射出的电子束流大小间接反映 X 射线的亮度. 工作中,首先进行 X 射线源有关连续辐射的测试研究,然后进行脉冲式辐射的相关测试.

## 2.1 电流检测

当综合测试仪真空室满足真空条件  $< 2.5 \times 10^{-4}$  Pa 时,调节好各电极电压,然后给 LaB<sub>6</sub> 阴极电子枪通电流加热,预热近 10 min 后,调节栅极正电压,确保阴极在饱和(最佳)状态下发射电子束,进行各项性能的测试. 测试中,通过改变阴极加热电源的输出电流(电压),挑选适宜的加热电源输出功率,调节阴极温度,控制阴极电子束的发射.

微束斑 X 射线源辐射出的 X 射线亮度是由轰击靶面的电子密度等决定的,会聚到靶面的电子越多,最终辐射出的 X 射线亮度越高. 实验发现,当阴极加热电源输出的电流  $I = 1.2$  A、相当于阴极加热到温度为 1300 K 时,荧光屏有亮点出现,表明此时有电流发射,但是微安表指针几乎没有移动,说明阴极发射电流应该小于  $1 \mu\text{A}$ ;当加热电流  $I \geq 1.4$  A (阴极温度 1400 K) 时,测量到阴极发射电流  $I_{\text{阴极}} \geq 1 \mu\text{A}$ ;说明伴随加热电流的增大,阴极发射电流也增大,与理论相符. 具体数值如表 2 所示.

表 2 LaB<sub>6</sub> 阴极加热发射电流

加热电流/A	发射电流/ $\mu\text{A}$
1.6	3
1.8	5
2.0	40
2.1	55
2.2	62
2.3	93

在其它条件不变的情况下,微束斑 X 射线源脉冲辐射是通过调节栅极偏置电压大小,进而控制阴极电子束到靶面的通与断的. X 射线脉冲辐射的质量与栅极电压的控制质量有直接关系,栅极脉冲电压控制的质量,决定仪器输出 X 射线的质量,栅极

控制脉冲正电压输出的情况通过示波器监控,实验记录到的栅极正压其一输出如图 5 所示.

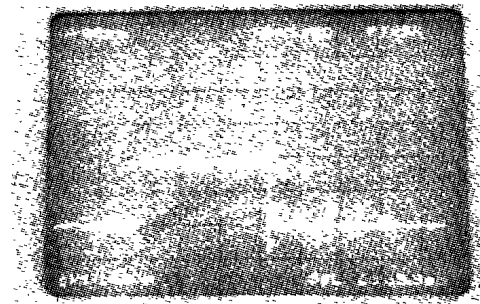


图 5 栅极正电压脉冲输出(脉宽 65 ms)

Fig. 5 Chart of the Wehnelt grid pulse output (pulse width 65 ms)

由图可见,我们设计的电路,脉冲电压的上升沿和下降沿都相当好,迟滞很小,易于有效地控制栅极电压的脉冲输出,确保 X 射线脉冲辐射的质量.

## 2.2 束斑检测

为便于记录在金属靶面的电子束斑大小,本文采用金属胶片这一媒质. 所谓金属胶片就是在 X 射线 PMMA 胶片的其中一面蒸镀有  $< 300$  nm 的金或铝薄膜. 在 PMMA 胶片一面蒸镀金属薄膜,当电子束轰击时,可以导走多余电子,防止电荷在靶面的积累;电子束与金属薄膜作用引起胶片的烧伤效应,近似记录电子束焦斑的大小.

图 6 是典型的电子束轰击镀金 X 射线胶片正面记录到的情形. 其工作条件是:  $U_{\text{阳极}} = 15$  kV,  $U_{\text{栅极}} = -187.5$  V,  $U_{\text{聚焦极}} = 370$  V,  $I_{\text{加热电流}} = 0 \sim 1.7$  A,  $T_{\text{时间}} = 1.2$  s. 从图上可以清楚地看到中间有一个隆起小包,它正是电子束轰击靶面产生的热量不能被及时带走所引发的受热膨胀现象,其中心的亮点正是电子密度、轰击最厉害的地方,也是电子束焦斑位置所在. 从背面可以看到,在热熔融扩散痕迹的中心,有一个很小的斑点,那正是密度最大的电子束流中心击穿热烧蚀胶片的小孔,利用它可近似反映电子束焦斑的大小.

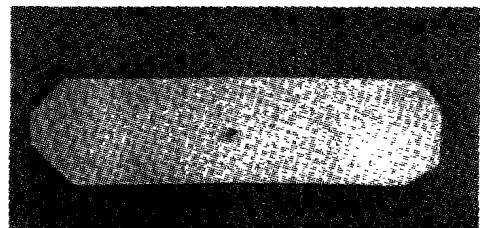


图 6 电子束轰击金属胶片焦斑

Fig. 6 The patten of electro-beam focus on the gold-film surface

入射靶面的电子束可将金属胶片击穿,而且在金属胶片的背面观察时,被击穿的小孔有比较清晰的边界,图 7 就是在透射显微镜下,将电子束焦斑小孔放大时,拍摄到的结果. 大量实验表明,微束斑 X 射线源连续辐射时,在阴极饱和和发射等最佳条件下,测量到的最小束斑直径为  $\leq 22 \mu\text{m}$ . 其实验条件是:

$U_{\text{加速极}} = U_{\text{阳极}} = 15 \text{ kV}$ ,  $U_{\text{栅极}} = -187.5 \text{ V}$ ,  $U_{\text{聚焦极}} = 377 \text{ V}$ ,  $I = 0 \sim 1.7 \text{ A}$ , 工作时间少于 1 s.

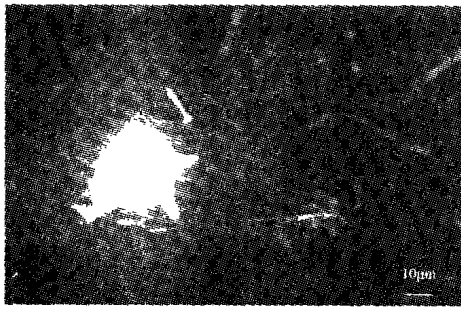


图 7 电子束焦斑

Fig. 7 Pattern of the electron beam focus

采用同样的办法,调节栅极偏压,控制电子束穿过会聚系统的通与断,实现 X 射线的脉冲式辐射,并测量输出的电子束焦斑. 图 8 是采用脉冲宽度为 65 ms 的脉冲电子束轰击靶面的实验结果. 大量实验结果表明,该新型微束斑 X 射线源脉冲辐射时,最小的电子束焦斑直径是 10 ~ 15  $\mu\text{m}$ ,其中,脉冲宽度是 100  $\mu\text{s}$  ~ 65 ms,其它条件: $U_{\text{加速极}} = U_{\text{阳极}} = 15 \text{ kV}$ ,  $U_{\text{栅极}} = -187.5 \text{ V}$ ,  $U_{\text{聚焦极}} = 377 \text{ V}$ ,  $I_{\text{加热电流}} = 1.5 \sim 1.8 \text{ A}$ .

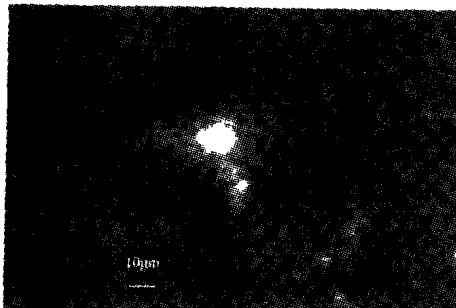


图 8 脉冲辐射电子束焦斑

Fig. 8 Pattern of the electron-beam focus

由图 8 可见,测量记录到的脉冲式 X 射线输出焦斑质量比连续辐射效果要好得多. 当采用更短脉冲 50  $\mu\text{s}$  时,实验发现,仅是在金属胶片正面留下直径很小的小包,背面胶片上基本没有痕迹<sup>[16]</sup>.

### 3 讨论分析

经过很多次对各种条件组合的实验检测记录,测量到的最佳焦斑直径,在连续辐射时为 15 ~ 22  $\mu\text{m}$ ,脉冲辐射时是 10 ~ 15  $\mu\text{m}$ . 分析关于实验检测出的电子束焦斑比理论计算焦斑值大的原因,我们认为主要有以下几点:

1) 系统各元件的机械加工精度还不够高,导致系统各电极之间的对中同轴性能变差,引起轰击靶面的电子束像差增大.

2) 测试记录方法带来的误差. 由于金属胶片是蒸镀有金属薄膜的 X 射线 PMMA 胶片,当电子束轰击时,与靶材作用将产生大量的热量,这些热量不能被及时带走,靶面将被热熔融,电子束烧蚀靶材,致使测量到的焦斑大于入射电子束斑直径.

至于脉冲辐射电子束焦斑小于连续辐射电子束

焦斑,主要是因为前者采用控制栅极电压,进而控制阴极发射到靶面电子束流的断与通,严格调控电子束与靶面的作用时间,实现 X 射线的脉冲辐射. 这样大大降低了电子束轰击靶面热效应对靶面的损害,降低了表面热堆积对金属胶片的热蚀作用等,减小了测量误差,使测量值更接近于真实束斑大小.

当然,研制便携式脉冲微束斑 X 射线源有其更大的现实意义、广泛的实用价值,并不仅仅是为了减小测量误差,这些在参考文献 16 中有详细介绍. 排除热积累对金属胶片的熔融作用,在理论上,该台式微束斑 X 射线源连续辐射和脉冲辐射所输出的 X 射线焦斑大小应该一致.

经过理论与实验实际测试,证明本文所研制的微束斑 X 射线源,具有体积小、重量轻的结构优点,能够方便灵活的移动;并且既可连续输出 X 射线,又可脉冲输出,同时又能够保证其输出的 X 射线具有高亮度、小束斑,完全满足最初研制微束斑 X 射线源时提出的目标. 尤其是脉冲方式输出的微束斑 X 射线源,采用的技术线路简单,成本低,控制电压幅度小,脉冲迟滞小;与目前所使用的基于高压放电产生脉冲 X 射线源的方法相比较,要优越的多,后者存在技术线路复杂、成本高,输出 X 射线束斑大等缺点<sup>[18,19]</sup>.

目前,该微束斑 X 射线源的脉冲工作方式处于单脉冲状态,脉冲宽度从微秒到秒级可调;若进一步将其改进为占空比很小的连续脉冲工作模式,甚至有可能代替现有的旋转靶 X 射线源. 另外,若将该台式微束斑 X 射线源与单根锥形毛细管或单根椭圆形毛细管等 X 射线光学元件配合,或(和)改进现在的电子热场发射方式,采用新兴的金刚石薄膜、碳纳米管等材料的电子场致发射方式,则能够进一步提高 X 射线的输出亮度和缩小束斑,有望获得直径为亚微米甚至纳米级的高亮度 X 射线输出.

### 4 结论

与现有各种高亮度微束斑 X 射线源相比较,本文所研究的(连续辐射或脉冲辐射)新型台式微束斑 X 射线源体积小、重量轻,安全便捷、可灵活移动,造价低廉,完全可以为一般大专院校的普通实验室及小研究团体接受,同时应用范围广阔、具有广泛的实用价值. 其所输出的 X 射线从几 keV 到几十 keV,可应用于医学、生物学、化学、材料无损探伤等不同的科学研究领域,可以为 X 射线显微术和显微层析术提供轻巧便捷、可灵活移动的、更高意义上的 X 射线‘点光源’,还可以用来改善现有透视和 X-CT 系统的分辨率,提高其成像清晰度. 对于微束斑 X 射线光学的发展,促进生物学、医学、生命科学以及材料科学等领域的研究与发展具有重要的现实意义.

## 参考文献

- 1 Rayment T, Schroeder S M, Moggridge G D, *et al.* Electron-yield X-ray absorption spectroscopy with gas microstrip detectors. *Rev Sci Instrum*, 2000, **71** (10): 3640 ~ 3645
- 2 Pogany A, Gao D, Silkins S W. Contrast and resolution in imaging with a microfocus X-ray source. *Rev Sci Instrum*, 1997, **68** (7): 2774 ~ 2782
- 3 Stasio G D, Gilbert B, Nelson T, *et al.* Feasibility tests of transmission X-ray photoelectron emission microscopy of wet samples. *Rev Sci Instrum*, 2000, **71** (1): 11 ~ 14
- 4 Wang K G, Niu H B. Study of the X-ray source with micro-beam. *Proc SPIE*, 2001, **4224**: 101 ~ 104
- 5 Dhez P, Chevallier P, Lucatorto T B, *et al.* Instrumental aspects of X-ray microbeams in the range above 1 keV. *Rev Sci Instrum*, 1999, **70** (4): 1907 ~ 1920
- 6 Khacef A, Viladrosa R, Cachoncinlle C, *et al.* High repetition rate compact source of nanosecond pulses of 5 ~ 100 keV X-ray photons. *Rev Sci Instrum*, 1997, **68** (6): 2292 ~ 2297
- 7 Ratliff L P, Bell E W, Parks D C, *et al.* Continuous highly charged ion beams from the National Institute of Standards and technology electron-beam ion trap. *Rev Sci Instrum*, 1997, **68** (5): 1998 ~ 2002
- 8 Marrs R F, Schneider D H, MacDonald J W. Projection X-ray microscope powered by highly charged ions. *Rev Sci Instrum*, 1998, **69** (1): 204 ~ 209
- 9 Rondot S, Cazaux J, Aaboubi O, *et al.* Following ion diffusion in solution. *Science*, 1994, **263** (25): 1739 ~ 1741
- 10 王凯歌, 牛憨笨, 郭金川. 微束斑 X 射线源聚束系统的数值研究. *光子学报*, 1999, **28** (12): 72 ~ 75  
Wang K G, Niu H B, Guo J C. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28** (12): 72 ~ 75
- 11 王凯歌, 牛憨笨, 杨建清. 微束斑 X 射线源 LaB<sub>6</sub> 阴极电子枪的设计. *光学技术*, 2001, **27** (1): 68 ~ 70  
Wang K G, Niu H B, Yang J Q. *Optical Technique*, 2001, **27** (1): 68 ~ 70
- 12 王凯歌, 牛憨笨, 张同意. 微束斑 X 射线源发射系统的数值研究. *光子学报*, 2001, **30** (1): 62 ~ 64  
Wang K G, Niu H B, Zhang T Y. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30** (1): 62 ~ 64
- 13 Sewell P B. General Guidelines for Operating ES-423E LaB<sub>6</sub> Cathodes. Technical Bulletin # LaB<sub>6</sub>-01B, 1991 May
- 14 Sewell P B. Kimball Physics ES-423E LaB<sub>6</sub> Cathode Operating Instructions for Leica/Cambridge Stereoscan Series SEM's. Technical Bulletin # LaB<sub>6</sub>-06B, 1991 May
- 15 王凯歌, 牛憨笨, 周燕. 电子束在微束斑 X 射线源内的运动轨迹计算. *计算物理*, 2003, **20** (1): 21 ~ 24  
Wang K G, Niu H B, Zhou Y. *Chinese Journal of Computational Physics*, 2003, **20** (1): 21 ~ 24
- 16 王凯歌. 微束斑 X 射线源的理论实验研究 [博士学位论文]. 2002. 6  
Wang K G. Theoretical and experimental study of the X-ray source with micro-beam. 2002. 6
- 17 Bateman J E, Moss G R, Rockett P, *et al.* Digital X-ray microscope with a microfocal X-ray generator and an MWPC area detector. *Nucl Instr and Meth*, 1988, **A273**: 767 ~ 772
- 18 Sato S, Higashi Y, Haya S, *et al.* Repetitive compact flash X-ray generators for soft radiography. *Proc SPIE*, 1992, **1801**: 628 ~ 635
- 19 Boye C N, Holland G E, Seely J F. Portable hard X-ray source for nondestructive testing and medical imaging. *Rev Sci Instrum*, 1998, **69** (6): 2524 ~ 2530

## A New protable X-ray Source with Micro-beam

Wang Kaige<sup>1,2</sup>, Niu Hanben<sup>2,3</sup>, Li Ji<sup>3</sup>, Yang Qinlao<sup>3</sup>, Wang Pengye<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

<sup>2</sup> Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

<sup>3</sup> Institute of Optoelectronics, Shenzhen University, Shenzhen 518060

Received date: 2003-09-08

**Abstract** A novel protable X-ray source with micro-beam was introduced in this paper. Eximious LaB<sub>6</sub> crystal cathode electro-gun is used as emitting system, it has a great lot of working hours, and the focusing system is comprised of two equal radius concentrating cylinder electrodes, it is effective, light and handy. Furthermore, the new X-ray source's general-purpose capabilities such as continuous radiation and pulse radiation, focus size and luminance, were tested. The new X-ray source has the advantages of cheapness and dexterity and safety.

**Keywords** X-ray source with miro-beam; Emitting system; Focusing system; Luminance



**Wang Kaige** was born in June 1970. He achieved his Ph. D. (physical electronics) degree in Xi'an Institute of Optical & Precision Mechanics (XIOPM), Chinese Academy of Sciences in 2002. 8. His current research interests are the X-ray source with micro-beam and its applications, furthermore, he is now studying some subjects about soft condensed matter.