

金属等离子体软 X 光源的研制*

张胜基 施修龄 潘世友 彭建华 阚希文

(北京师范大学低能核物理所, 北京市辐射中心 北京 100875)

摘 要 一台金属等离子体软 X 光源在北京师范大学低能核物理所建成. 为该光源配套研制了一台高频、高压恒流充电电源. 该光源工作波长为 $0.8\sim 2\text{ nm}$, 单脉冲能量大于 10 J .

关键词 金属等离子体 软 X 射线源 恒流电源

分类号 TL929

1 引言

软 X 射线源是近十几年发展起来的一种新型光源, 它为软 X 波段的光学研究提供了有效的实验设备. 同时它又在亚微米 X 光刻、Liga 技术、软 X 光显微成像技术等方面具有广阔的应用前景.

目前国际上公认的强软 X 光源有两类: 一是同步辐射光源, 一是强脉冲等离子体源. 北京师范大学低能核物理所 X 光学实验室成功地研制了一台金属等离子体软 X 光源. 该光源的性能: 最高工作电压 20 kV , 电容器容量为 $5\text{ }\mu\text{F}$, 回路电感小于 50 nH , 软 X 光剂量为 10 J/脉冲 . 同时研制了一台为电容器组充电的开关型恒流充电电源, 该电源的最高工作电压为 20 kV , 最大充电电流为 250 mA , 最高工作频率每秒钟 4 次.

2 实验装置及工作原理

金属等离子体 Z-Pinch 软 X 光源实质上是一台冲击电流发生器. 它由电容器组(5 台, $1\text{ }\mu\text{F}$, 30 kV 脉冲电容器)、传输线、放电室、真空系统及相应电源组成.

该光源辐射 X 光基于以下物理过程: 冲击电流产生的初始阶段为金属蒸气真空弧放电, 在这一过程中, 放电电流(一般大于 10 kA) 在金属阳极表面产生阳极斑, 从该阳极斑

向阴极喷射出大量金属蒸气, 并被迅速电离成金属等离子体, 形成金属蒸气真空弧放电; 随着放电电流迅速上升(一般上升速率大于 $10^{11}\text{ A}\cdot\text{s}^{-1}$, 强度大于数 10 kA), 等离子体产生自箍缩现象, 即进入所谓“Z-Pinch”阶段, 在这一阶段, 等离子体的温度和密度迅速上升, 并从中辐射出大量软 X 射线.

3 实验结果

3.1 放电参数测量

一台冲击电流发生器的工作电压、放电回路电感及放电电流是几个重要参数. 为此, 首先对这几个参数进行了测量, 结果如下: 放电电压为 20 kV , 电容器组容量为 $5\text{ }\mu\text{F}$, 放电周期为 $2.96\text{ }\mu\text{s}$, 回路电感为 44.4 nH , 放电电流大于 200 kA .

3.2 辐射谱的测量^[1]

这台金属等离子体 Z-Pinch 源能否用于亚微米光刻, 关键在于它能否辐射出 $0.8\sim 2\text{ nm}$ 的软 X 射线, 并具有足够的强度. 为此对辐射谱作了测量.

选用透射光栅谱仪来测量能谱. 透射光栅是由德国 Heidenhain 公司制造的无支撑型针孔透射光栅. 该光栅材料为金, 线周期为 $1\text{ }\mu\text{m}$, 针孔直径为 $50\text{ }\mu\text{m}$. 光谱分辨为 0.168 nm , 测谱范围为 $0.17\sim 30\text{ nm}$. 所测得的射线谱见图 1. 由图可知, 该光谱有 2 个峰带: 第 1 个峰带, 峰值在 1.4 nm , 半宽度约 1.3 nm ; 第

* 国家自然科学基金和北京市自然科学基金资助课题, 课题编号 69138010 和 19010010.

2 个峰带,峰值在 5.2 nm,半宽度约 2.5 nm. 由于在软 X 射线能区国内尚未有单色标准源,故上述测量的强度只能是相对值.

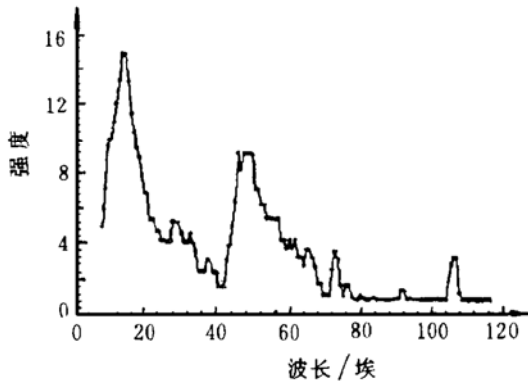


图 1 透射光栅谱仪测得的射线谱

3.3 辐射能量的测量

从能谱测量可知,金属等离子体 Z-pinch 软 X 光源在 0.6~2 nm 处存在一个峰,这个峰正是亚微米光刻所需要的,问题就是此峰的强度究竟有多大?

为此,本课题组用量热计来测量光源辐

射能量.该量热计是上海光机所研制的,用于激光打靶过程的 X 射线.由于此光源辐射谱是由从 10^{-1} nm 至红外的连续谱迭加一些线谱峰组成,因此必须对各谱段能量作分别测量.测量结果见附表.

这里共有三组测量数据:第一组是光源总辐射能量 E_0 ;第二组是波长大于 230 nm 光辐射能量 E_1 ,这是通过在能量计探头前加一 1.5 mm 厚的光学玻璃片实现的,该片对 230~1800 nm 的光透过率为 88%,当波长小于 230 nm 时,透过率迅速下降;第三组是波长小于 2 nm 光辐射能量 E_3 ,也就是亚微米光刻所需软 X 光的能量,是通过在探头前加一 1.18 μ m 厚的铝膜实现的.在这一厚度下,0.8~2 nm 软 X 射线的透过率约 50%,大于 2 nm 软 X 射线的透过率迅速下降.综上所述,光源的测量性能如下:放电电压为 20 kV,电容器组容量为 5 μ F,回路电感小于 50 nH,光源辐射峰波长为 0.8~1.9 nm,辐射峰能量大于 10 J.

附表 金属等离子体射线源的辐射能量

放电电压 U/kV	12	15	18	20
电容器组储能 E/J	360	562.5	810	1000
光源总辐射能量 E_0/J	109.2	161.9	194.0	227.7
大于 230 nm 光辐射能量 E_1/J	3.82	6.60	8.67	10.73
小于 230 nm 光辐射能量 E_2/J	105.4	155.2	185.3	217.2
小于 2 nm 光辐射能量 E_3/J	6.55	9.25	10.6	11.7
E_3 与总储能 E 之比 $q\%$	1.82	1.64	1.31	1.17

4 恒流充电电源

根据金属等离子体 X 光源的工作情况,由电源向电容器充电.当达到设定电压值后,首先关闭电源,然后向 X 光源装置系统发出点火脉冲,电容器放电,下一步电源就进入等待状态,此时 X 光源装置系统排气.这种电容

器间歇充电的工作方式,电容器处在高电压状态的时间很短,这对电容器的寿命是有利的.电容器的充电电压是可以调节的,调节范围为 1~20 kV,电容器充电时间 t_1 的长短与电容器的容量、电源的功率及设定电压值有关.

图 2 给出了电源原理框图与全桥电路.

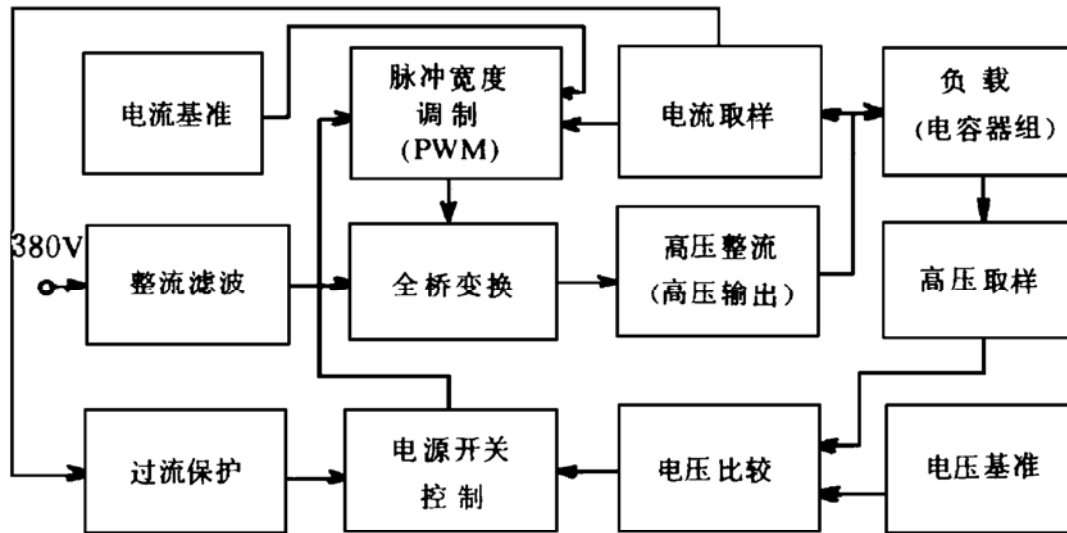


图 2 电源原理框图

参 考 文 献

与 X 射线能量的测量. 光学精密工程, 1995, 3(1): 50
~56

- 1 李永安, 王大椿. 金属等离子体 Z-pinch 软 X 射线能谱

Development of Soft X-ray Source by Metal Plasm

ZHANG Shengji SHI Xiuling PAN Shiyou PENG Jianhua KAN Xiwen
(Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University,
Beijing Radiation Centre, Beijing 100875)

Abstract A soft X-ray source produced by metal plasma has been built in Institute of Low Energy Nuclear Physics. The characters of the source are measured. Its wavelength is 0.8~2.0 nm, pulse energy is 10 J. For this source a high frequency, high voltage power supply with constant current was developed.

Key Words metal plasma soft X-ray source constant current power supply