

激光驱动高亮度电子束源

赵 菱 耿荣礼 王莉芳 张保澄 于 进 吴根法 王 彤 宋进虎 陈佳洱

(北京大学重离子物理研究所 北京 100871)

摘 要 采用激光驱动光阴极和 100kV 直流加速间隙可产生宽度为 50~100ps 的高亮度脉冲电子束。该装置主要由光阴极制备室和直流加速间隙组成。可以用化学气相沉积、离子注入和离子束增强沉积等方法制备光阴极。通过用 EGUN 和 POISSON 程序模拟,给出了直流加速间隙的物理设计。光源采用一台主被动双锁的 Nd:YAG 激光器,可工作在 1064、532 和 266nm 三个波长,重复频率为 10Hz。此外,也论述了光阴极制备室与超导腔结合的超导高亮度注入器的有关问题。

关键词 高亮度电子束 光阴极 超导腔

1 引 言

高能直线对撞机、自由电子激光和皮秒级 X 射线源的研究都要求高亮度强流短脉冲电子束。由于归一化亮度正比于峰值电流与横向归一化发射度平方的比值,因此,高亮度电子束源需具备强流和非常小的横向发射度。常规强流电子束源在获得高亮度方面存在两大障碍:(1)低能电子束在空间电荷力的作用下,发射度随传输距离的增加而迅速增长;(2)因采用聚束器使束团的发射度难以压得很低。近年发展起来的微波电子枪采用很高的阴极表面场减弱空间电荷的影响,在短距离内将电子加速到相对论能量,有效地提高了电子束亮度(10^{10} A/cm²rad²)^[1]。采用光阴极的微波电子枪可进一步提高亮度,其电子束脉冲宽度由激光控制,且没有热效应,光电流密度可达 100~600A/cm²,亮度比热阴极微波电子枪又提高了 1~2 个数量级(10^{11} ~ 10^{12} A/cm²rad²)^[2]。如采用超导腔^[3]代替室温微波腔,则有如下优点:可以连续波(CW)模式工作;超导腔具有极低的 RF 损耗,可在不考虑分路阻抗的情形下优化腔型,以满足抑制发射度增长的要求;深冷的环境(液氮温度)为光阴极提供了有利条件。目前,已经完成超导腔的研制^[4]、离子注入光阴极的初步研究^[5]和碲化铯光阴极的实验研究^[6]。在此基础上,将首先建造一台激光驱动的直流电子源,采用激光驱动光阴极,通过 100kV 高压加

速,产生 50~100ps 的高亮度电子束。

2 总体结构

北京大学激光高亮度电子束源的总体结构见图 1。它主要由光阴极制备室、直流加速腔、锁模激光器和束流诊断室组成。

光阴极制备室主要包括以下部件:高真空室(1.33×10^{-4} Pa)、具有 1.5m 长波纹管的传送机构、碲和铯的蒸镀装置、铯离子源、氩离子枪(用于阴极样品的表面清洗)、激活加热组件及检测系统。通常,可以采用三种方法制备光阴极,即化学气相沉积、离子注入和离子束增强沉积。光阴极制备好后,用传送机构将其在高真空下送至直流加速腔,用特殊的定位结构将光阴极固定在聚焦极上,然后传送杆退回原位。插板阀将制备室和加速室隔离开,将加速室抽到超高真空。

直流加速腔主要由聚焦极、阳极和 100kV 高压馈入端子构成。聚焦极由柱状陶瓷固定在真空壁上,阴阳极间距可作小范围调节。100kV 高压端子是特殊设计的,以防止漏电和打火。在加速腔的前端面,开有两个石英窗作为激光入口,另外还开有两个观察窗。在加速腔出口位置有一个磁线圈,用以抑制在其后的漂移段中束流的发散效应。

该装置中采用的光源为一台主被动双锁的 Nb:YAG 激光器,由本振极和放大极组成,经倍频后可工作在 1064、532 和 266nm

三个波长. 激光脉冲宽度为 50~100ps, 重复频率为 10Hz.

束流诊断部分主要由法拉第杯和发射度测量仪组成, 用以测量流强和发射度.

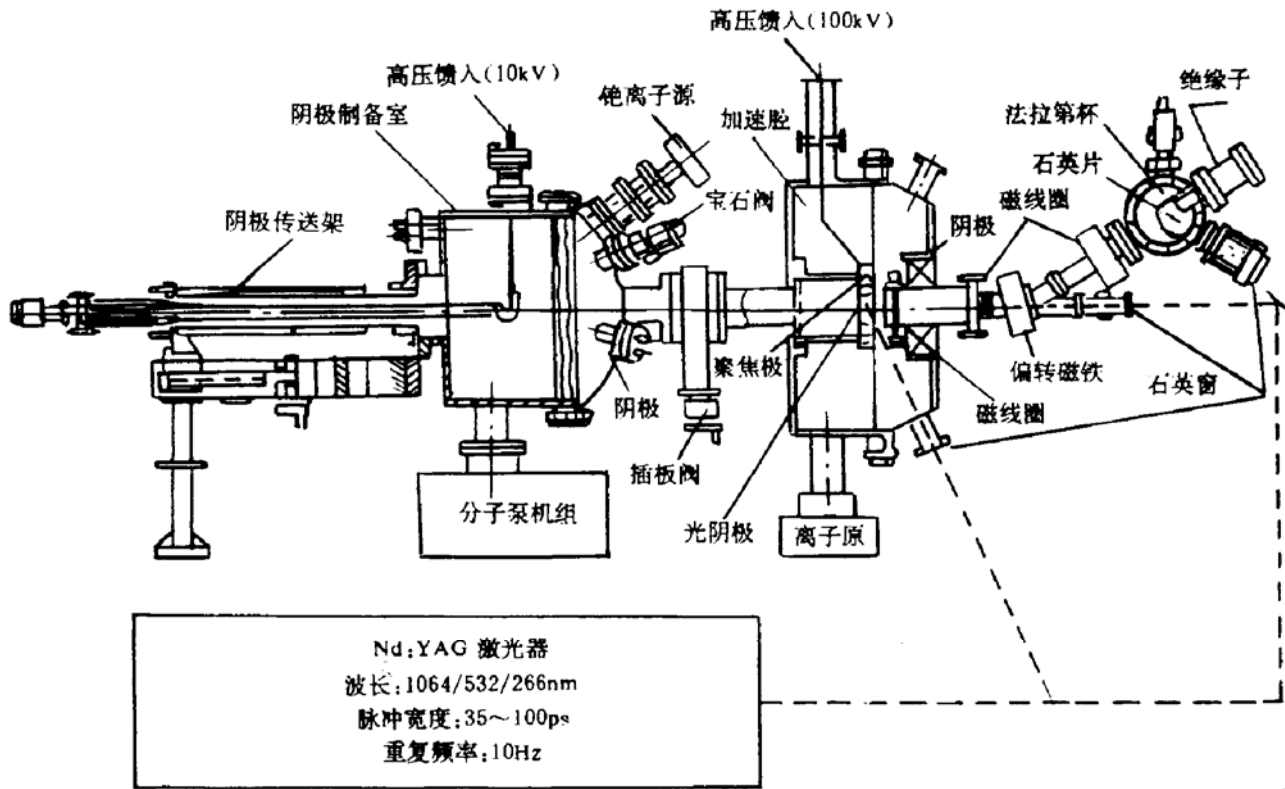


图 1 北京大学激光驱动高亮度电子束源

3 光阴极的选择

光阴极是光电子枪的技术关键, 金属光阴极和半导体光阴极各有其优缺点^[7]. 为与超导腔相配合, 希望光阴极在强场下稳定, 并具有较高的量子效率. 金属光阴极稳定性好, 但量子效率低, 所需的高功率激光对超导体亦不利; 化合物半导体光阴极量子效率高, 但在强场下不稳定, 寿命短, 对超导腔亦不合适. 为此, 本所于 1993 年初提出离子注入法制备金属基底光阴极, 量子效率比纯金属提高一个数量级. 1994 年 10 月, 在国内率先进行的碲化铯光阴极的大电流光电发射实验, 测得了 4.3% 的量子效率及 100A/cm² 的电流密度, 而且它具有良好的长期稳定性. 将以上所述的两种光阴极为基础, 进行高亮度电子束实验. 同时, 利用本装置, 还可进行光阴极的开发和研究.

4 直流加速间隙的设计

目前, 采用的高压仅为 100kV, 为实现较高的亮度, 必须对间隙进行优化设计. 采用 EGUN 和 POISSON 程序. 设计中主要是确定聚焦极倾角和阳极鼻锥形状, 以保证良好的聚焦和尽可能高的阴极表面场. 表 1 给出了设计参数, 同时还列表对比了国际上相关研究工作^[8].

5 超导腔的引入及发展

下一步目标是用超导腔代替直流加速腔. 超导腔的优点在于其在 CW 模式下运行可以得到较高的加速梯度. 但超导腔的引入也带来了一些问题, 如光阴极与超导腔的结合部的散热、微波短路及光脉冲与 RF 同步等问题. 对这些问题的设计研究已在考虑之中.

作为本文的结束, 还要说明一点, 对本装

置稍加改动,即可产生极化电子束,作为未来对撞机的注入器.

表 1 直流光电子枪参数比较

参 数	Peking Univ.	CEBAF	SLAC	Ref. *
高 压 (kV)	80~100	400~500	60~120	30~60
阴极表面场(MV/m)	3.6	6~10	1.8	15
每脉冲电荷(nC)	0.05~0.1	0.07~0.2	16	0.02~0.6
阴极直径(mm)	6	25	14	
发射面直径(mm)	4	2~6	14	2
激光脉宽(ps)	15	15	500	38
平 均 流 强	0.5~1nA	5mA	4μA	0.2~6nA
重 复 频 率	10Hz	37Hz	120Hz	10Hz

* 未来对撞机的注入器参数.

参 考 文 献

<p>1 Westenkov G A, Madey J M J. <i>Laser and Particle Beams</i>, 1984, 2: 223</p> <p>2 Sheffield R L, Gray E R, Fraser J S. <i>NIM</i>, 1988, A272: 222</p> <p>3 Piel H. <i>CERN Report</i>, 1989, 89-04: 149</p>	<p>4 赵 葵等. <i>强激光与离子束</i>, 1992, 4(1)</p> <p>5 Zhao Kui, et al. <i>LINAC '94</i>, Tsukuba, Japan, 1994</p> <p>6 王 彤, 于 进. <i>第三届全国激光科学技术青年学术交流会论文集</i>, 杭州, 1995 年</p> <p>7 Travier C. <i>NIM</i>, 1991, A304: 285</p> <p>8 Liu H, et al. <i>Particle Accelerator Conference</i>, Dalas, USA, 1995</p>
--	--

High-brightness Electron Source Driven by Laser

Zhao Kui Geng Rongli Wang Lifang Zhang Baocheng Yu Jin

Wu Genfa Wang Tong Song Jinhu Chen Jiaer

(*Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing 100871*)

Abstract A DC high-brightness laser driven by photoemissive electron gun is being developed at Peking University, in order to produce 50~100ps electron bunches of high quality. The gun consists of a photocathode preparation chamber and a DC acceleration cavity. Different ways of fabricating photocathode, such as chemical vapor deposition, ion beam implantation and ion beam enhanced deposition, can be adopted. The acceleration gap is designed with the aid of simulation codes EGUN and POISSON. 100kV DC high voltage is fed to the anode through a careful designed ceramic insulator. The laser system is a modelocked Nd-YAG oscillator proceeded by an amplifier at 10 Hz repetition rate, which can deliver three different wavelength(1064/532/266nm). The combination of a superconducting cavity with the photocathode preparation chamber is discussed in this paper.

Key Words high-brightness electron bunche photocathode superconducting cavity