第 12 卷 第 6 期
2000 年 11 月

强 激 光 与 粒 子 束
HIGH POWER LASER AND PARTICLE BEAMS

Vol. 12, No. 6
Nov., 2000

文章编号: 1001-4322(2000)06-0756-03

绝缘环厚度对 200kV 箍缩反射离子二极管电参数的影响*

石 磊, 何小平, 张嘉生, 邱爱慈, 吴祖堂

(西北核技术研究所, 西安市 69 信箱 13 分箱, 710024)

摘 要: 给出了箍缩反射离子二极管中绝缘环厚度的选择原则, 并从实验上给出了 200kV 箍缩反射离子二极管的绝缘环厚度对离子束和二极管电参数的影响, 当绝缘环厚度为 2～3mm 时, 二极管总电流峰值和离子束流峰值都较大, 加速器系统工作状态较稳定。

关键词: 箍缩反射离子二极管; 绝缘环; 离子束流; 阻抗

中图分类号: TL 506 **文献标识码**: A

强流脉冲离子束一般是利用强流脉冲电子束加速器产生的, 加速器的工作原理简单地说, 是以低功率储存电磁能量而以高功率将其释放给二极管, 二极管将电磁能转换成粒子束或其它辐射。为提高二极管中离子流的产生效率(即离子流与二极管总电流的比值), 应尽量提高二极管总电流中的离子流成份, 就必须抑制电子流, 一般采用反射三极管、磁绝缘二极管或箍缩二极管[1], 箍缩反射离子二极管是箍缩二极管的一种改进形式。影响箍缩反射离子二极管特性的主要因素有: 阴极材料和形状、阳极膜材料和厚度、阴阳极间隙、绝缘环厚度、二极管纵横比、预脉冲电压和脉冲功率源的工作状态等, 本文主要研究在加速器输出电压为 200kV, 脉宽约 40ns, 形成线和传输线阻抗均为 5Ω, 二极管阻抗也为 5Ω 的实验条件下, 箍缩反射离子二极管的绝缘环厚度对离子束和二极管电参数的影响。

1 箍缩反射离子二极管的结构

图 1 为箍缩反射离子二极管的结构及原理示意图。为提高二极管能量输出效率, 应尽量减小二极管电感, 采用径向绝缘形式可以缩短其轴向厚度, 从而减小二极管电感。在该二极管中, 用阳极膜代替固体阳极改善了箍缩过程, 阳极座前面有一有机材料薄膜绷在一个绝缘环上, 并通过一根中心回流柱同阳极座保持电接触。阴极是一空心导电圆筒, 阴极发射的电子通过阳极膜后, 在中心回流柱电流产生的环向磁场作用下, 反射回阳极膜与阴极之间的区域, 这样电子束多次穿过阳极膜并向轴线箍缩, 可产生更多的阳极等离子体, 电子路径进一步增大, 使离子流产生效率提高[2]。通过理论计算和计算机模拟, 选取了箍缩反射型离子束二极管的阴极半径、阴阳极间隙、二极管同轴段半径、二极管圆锥段形状、阳极结构和半径等结构参数。

取绝缘环外半径为 3cm 与阳极半径相等, 内半径为 2.7cm 略大于阴极外半径, 其厚度 δ 选取较为讲究, 下面

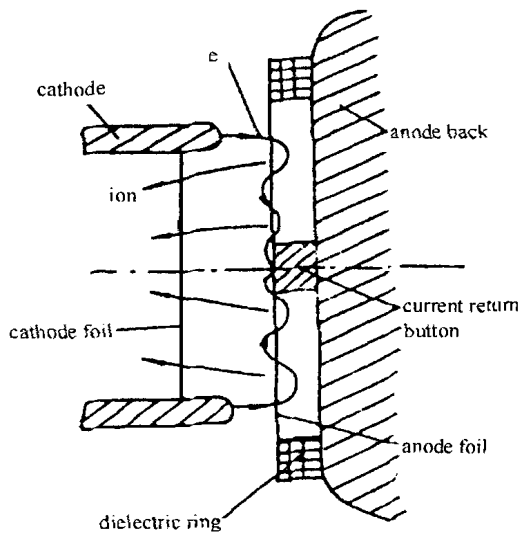

Fig. 1 Principle diagram of pinch-reflex ion diode
图 1 箍缩反射离子二极管原理图

* 收稿日期: 2000-07-23; 修订日期: 2000-09-20
基金项目: 国家自然科学基金: (19975037) 和国防科技基础研究基金资助课题
作者简介: 石 磊(1966-), 男, 博士, 副研究员, 从事脉冲功率技术研究。

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

对绝缘环厚度 δ 进行估算, 假设从阴极发射的电子垂直入射到半径为 R (即阴极半径) 的阳极膜处, 在中心回流柱所产生磁场的作用下作近似圆周运动, 为使电子不至打到阳极板上, 电子回旋半径应小于绝缘环厚度。假设电子最终全部流入中心回流柱, 它在 R 处产生的磁场为 $B = \mu_0 I_p/(2\pi R)$。在阴极半径 $R = 2.5$cm 时, 若二极管电压为 $U_d = 200$kV, $I_d = 40$kA, 考虑电子相对论效应得电子速度 $v_e = 0.69c$ (c 为真空中光速), 电子穿过阳极膜后回旋半径为 $r_0 = m_e v_e/(eB) = 0.36$mm; 若 $U_d = 100$kV, $I_d = 20$kA, $v_e = 0.55c$, 则 $r_0 = 0.58$mm。如果考虑电子在二极管中的箍缩效应, 电子回旋半径应更小。考虑到初始时二极管总电流较小, 其自磁场也较小, 会有大量电子直接被阳极板吸收造成损失, 因此绝缘环厚度 δ 应大于 1mm, 但又不能太大, 否则在二极管电压的开始阶段, 不利于阴极电子的发射, 取 $\delta = 1 \sim 4$mm, 材料选用有机玻璃或聚四氟乙烯等。中心回流柱是直径为 6mm 的黄铜。为使产生的离子主要成份是 H^+, 阳极膜选用含氢量高的有机材料聚乙烯。

2　绝缘环厚度对离子束和二极管电参数的影响

图 2 是一典型的二极管电压、二极管总电流和离子束流波形。实验条件为: 二极管间隙为 4mm, 阳极半径为 3cm, 绝缘环厚度为 2mm, 阳极膜为厚度 70μm 的聚乙烯, 阴极材料为高密度石墨, 阴极内、外半径分别为 $r = 2.0$cm, $R = 2.3$cm, 二极管真空度约为 1×10^{-2}Pa。

二极管阻抗 $Z_d(t) = U_d(t)/I_d(t)$。测量结果如图 3 所示。可以看出, 二极管阻抗曲线大致可以分为三个阶段: (1) 从二极管电压开始至约 135ns, 阻抗随时间迅速下降, 这是由于阴、阳极等离子体(主要是阴极等离子体) 作相向膨胀运动而使二极管有效间隙逐渐缩小的结果, 在此期间, 束流大体上遵循 Child-Langmuir 定律; (2) 自 135ns 至 162ns, 阻抗变化缓慢, 物理上反映电子束的自箍缩; (3) 自 162ns 之后, 阻抗下降变快, 甚至降为 0, 称为阻抗崩溃, 这是由阴、阳极等离子体的接近(或短路) 闭合造成的。

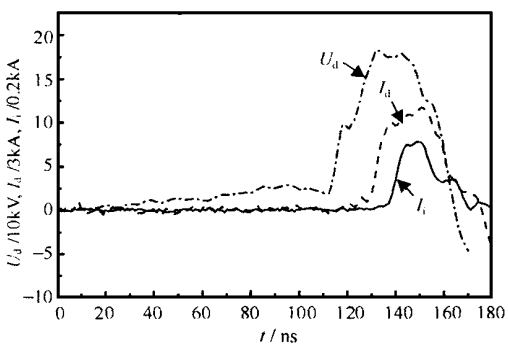

Fig. 2　Waveforms of U_d, I_d and I_i

图 2　二极管电压 U_d、二极管电流 I_d 和离子流 I_i 波形

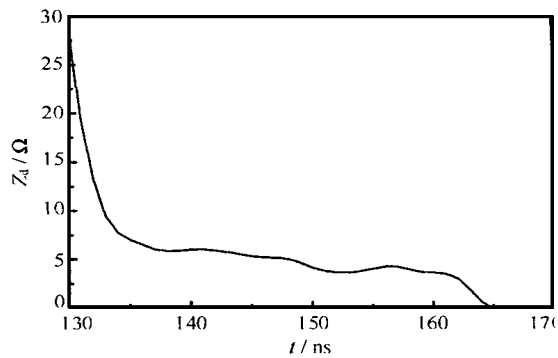

Fig. 3　Diode impedance *vs* time

图 3　二极管阻抗曲线

实验条件同上, 当阴阳极间隙电压峰值约 $U_{dm} = 180$kV 时, 二极管总电流峰值 I_{dm}、离子束流峰值 I_{im} 和二极管阻抗 Z_d (阻抗曲线的平稳段的数值) 随二极管绝缘环厚度(绝缘环厚度与中心回流柱长度相等) 的变化关系分别如图 4 和图 5 所示。

从图 4 和图 5 可以看出, 绝缘环厚度在 2～3mm 时, 离子束流峰值较大, 并且二极管阻抗可稳定在约 5Ω 处; 当绝缘环厚度大于 3mm 时, 在二极管电压开始阶段, 阴阳极有效间隙较大, 不利于阴极电子的发射, 又由于二极管电压脉冲狭窄(只有约 40ns), 二极管不能处于正常工作状态; 当绝缘环厚度小于 2mm 时, 由于电子穿过阳极膜时, 有一部分电子打到阳极座上直接被吸收, 不能多次穿过阳极膜。

当绝缘环厚度大于 3mm 和小于 2mm 时, 二极管总电流峰值和离子束流峰值都较小, 绝缘环厚度在 2～3mm 时, 二极管总电流峰值和离子束流峰值都较大, 这也从另一个侧面反映了离子在二极管中对电子流的增强作用, 离子中和了部分电子, 使得电子流增加。

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.

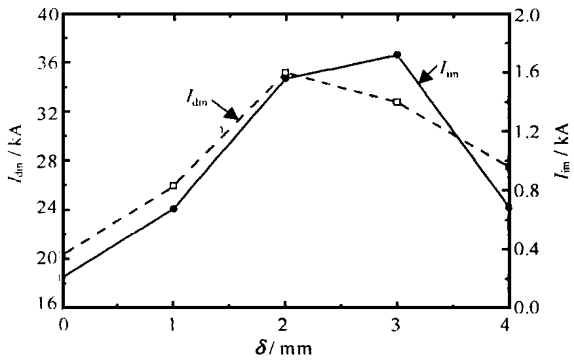

Fig. 4 Diode total peak current and ion peak current *vs* the thickness of dielectric ring

图4 二极管总电流峰值和离子束流峰值随绝缘环厚度的变化关系

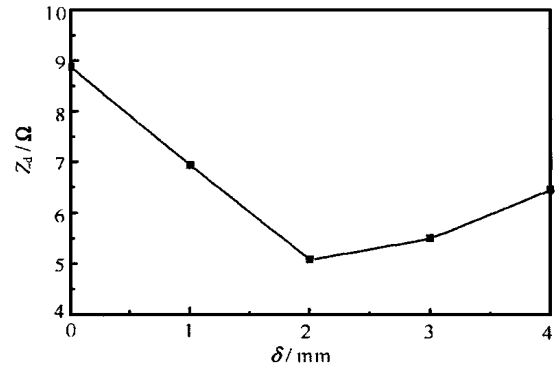

Fig. 5 Diode impedance *vs* the thickness of dielectric ring

图5 二极管阻抗随绝缘环厚度的变化关系

3 结 论

在加速器装置(200kV、40ns、5Ω)自身和箍缩反射离子二极管其它各参数一定的情况下,给出了箍缩反射离子二极管中绝缘环厚度的选择原则,并从实验上研究了绝缘环厚度对箍缩反射离子二极管产生的离子束和二极管电参数的影响,实验结果表明:当绝缘环厚度为2~3mm 时,二极管总电流峰值和离子束流峰值均较大,并且二极管阻抗在5Ω附近,加速器系统各部分阻抗匹配,工作状态较稳定。

参考文献:

[1] 石磊,邱爱慈,王永昌,等. 高功率脉冲离子束的产生[J]. 强激光与粒子束, 1999, **11**(6): 776~780.

[2] Stephanakis S J, Boller J R. Cooperstein G, et al. Experiment study of the pinch-beam diode with thin unbacked foil anodes[A]. Proc. of 9th int. conf. on high power particle beams[C]. Washington DC, 1992. 871~877.

The Effect of Dielectric Ring Thickness of 200kV Pinch-Reflex Ion Diode on Diode Electrical Parameters

SHI Lei, HE Xiao-ping, ZHANG Jia-sheng, QIU Ai-ci, Wu Zu-tang

(*Northwest Institute of Nuclear Technology, P. O. Box* 69-13, *Xi'an* 710024, *China*)

ABSTRACT: The dielectric ring thickness of pinch-reflex ion diode is roughly calculated, the effect of dielectric ring thickness of 200kV pinch-reflex ion diode on ion beams and diode electric parameters is studied. The experimental results show when dielectric ring thickness in the range of 2~3mm the accelerator system can work in good condition with high ion beam and total beam currents.

KEY WORDS: pinch-reflex ion diode; dielectric ring; ion beam current; impedance

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.