

文章编号: 1001-3806(2003)02-0137-03

电子束泵浦参数对氩第 3 谱带的影响*

赵永蓬 王 骐 刘金成

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨, 150001)

摘要: 对电子束装置进行了调试, 使二极管的电流和电压可以在一定范围内改变。利用该电子束装置泵浦 0.3MPa 的氩气, 获得了中心位于 240nm 氩的第 3 谱带。在二极管电流和电压两个参数中保持一个不变的情况下, 改变另一个参数, 观察到氩的第 3 谱带随二极管电压或电流的增加强度增大。

关键词: 电子束; 二极管; 第 3 谱带

中图分类号: O437.2 **文献标识码:** A

Effect of pumping parameters of electron beam on the third continuum of argon

Zhao Yongpeng, Wang Qi, Liu Jincheng

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: The device of electron beam is adjusted and the voltage and current of diode can be changed in a certain range. The third continuum, which centers at 240nm, is obtained by electron beam pumping argon (0.3MPa). Among voltage and current of diode, one is kept fixed and the other is changed. The experimental results show that the intensity of the third continuum of argon increase with the voltage or current of diode.

Key words: electron beam; diode; the third continuum

引 言

在稀有气体的谱带中, 比第 1 谱带和第 2 谱带波长长的谱带被命名为第 3 谱带。迄今为止, 已经观察到了所有稀有气体的第 3 谱带, 其光谱范围几乎覆盖了整个 VUV 和 UV 波段。由于光谱范围非常宽, 使得人们对其产生了浓厚的兴趣, 希望利用该谱带产生强的荧光辐射甚至激光振荡输出。在所有稀有气体第 3 谱带中, 对氩第 3 谱带的研究最广泛、最深入。研究者们希望通过对氩第 3 谱带的研究推动整个稀有气体第 3 谱带的发展。在已有对氩第 3 谱带的研究中采用了多种泵浦方式, 包括电子束^[1-5]、 α 粒子^[6,7]、 β 粒子^[7]、高能闪光 X 射线^[1,8]等。综合所有的实验结果, 氩第 3 谱带波长位于 160nm 到 300nm 之间的某一个光谱区, 并且具有 1 个、2 个甚至更多的峰值。由于对氩第 3 谱带的光谱范围和峰值个数、位置的实验研究中, 不同的研究者得到多种不同的结果, 使得很难确定该谱带来源

于何种物质的跃迁。在 1988 年, Langhoff 等人认为该谱带中中心位于 185nm 一段光谱来源于 Ar_2^{2+} 离子准分子的跃迁, 长波一段来源于 Ar_3^{2+} 的跃迁^[9]。但是在 1992 年, Cachoncinlle 等人对谱带的来源给出了新的解释^[10]。他们认为, Ar_2^{2+} 离子准分子的跃迁可以产生中心位于 185nm 附近的光谱, 但中心位于 200nm ~ 300nm 之间的光谱很可能来源于 Ar_2^{+} 离子准分子的跃迁。由于对氩第 3 谱带的来源得不到被广泛承认的解释, 使得对该谱带的进一步研究遇到了很大的困难。尽管如此, 由于第 3 谱带来源于离子准分子的跃迁, 并可能产生具有准分子跃迁的优点、输出波长更短的激光, 所以, 对氩第 3 谱带具有重要的学术意义。离子准分子体系是实现短波长、低激发阈的实验方案之一, 因此, 对其研究具有广泛的应用前景。国内对离子准分子的研究工作, 除华南师范大学以外几乎没有报道。而对氩第 3 谱带的研究只有本课题小组的工作报道。由于电子束产生的电子能量很大, 能够泵浦高气压大体积的气体, 故在实验中笔者采用电子束泵浦方式对氩第 3 谱带进行研究。在已有的电子束泵浦实验中, 所采用的电子束二极管的电压和电流都是恒定不变的, 故不能得出电子束的电流和电压对氩第 3

* 国家自然科学基金资助项目。

作者简介: 赵永蓬, 男, 1973 年 9 月出生。讲师。现从事离子准分子、毛细管放电等短波长激光研究。

收稿日期: 2002-02-05; 收到修改稿日期: 2002-04-05

谱带的影响情况。而对于气压和体积一定的气体来说,电子束的电流和电压参数将直接关系到电子束的能量在气体中的沉积情况。能量沉积的变化将对氙第 3 谱带产生影响。因而笔者在实验中研究了电子束电流和电压的变化对氙第 3 谱带的影响情况。

1 实验装置

实验中采用电子束横向泵浦方式。电子束装置由 Marx 发生器、脉冲形成线、主开关、脉冲传输线和二极管组成。二极管处电压测量采用 CuSO_4 水阻分压的衰减结构,电流的测量采用电阻回流器的形式,所得的波形由 TDS 380 数字示波器记录。电子束二极管中采用天鹅绒为阴极,以产生均匀的电子发射。阳极采用铝膜来保证电场的均匀性,同时保证电子穿过阳极膜时有尽量小的能量损失。电子束工作时,Marx 发生器首先被并联充电,然后串联放电产生高压脉冲。该高压脉冲对脉冲形成线进行谐振充电。当电压充至峰值电压的 90%~95%时,主开关导通,经脉冲传输线将高压脉冲加到二极管的阴阳极上。阴极在高压的作用下发射电子,电子在阴阳极之间加速产生电子束。电子束经 Ti 膜进入气体腔中泵浦气体。为了保证电子在二极管中能够被很好地加速,二极管中保持 $2.666 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 的动态真空。从电子束的产生过程可以看出,Marx 发生器相当于高功率电源,产生电子束的二极管相当于负载。因而改变 Marx 发生器中电容的充电电压值,相当于改变了高功率电源的输出电压;改变二极管中阴阳极之间的距离相当于改变负载的阻抗。同时改变 Marx 发生器中电容的充电电压和二极管中阴阳极之间的距离,可以使二极管的电流和电压发生改变,即使电子束的泵浦参数发生改变。适当选择二极管的阴阳极距离,改变 Marx 发生器的充电电压,可在保证二极管电流不变的情况下改变二极管电压值。同时,在保证 Marx 发生器的充电电压不变的情况下,改变二极管中阴阳极距离,可实现二极管的电压不变而电流发生改变。

荧光谱的测量装置如图 1 所示。图中电子束通过 Ti 膜注入到气体腔中来泵浦氙。气体腔中充入氙气的气压为 0.3 MPa,纯度为 99.9993%。在充入氙气之前首先对气体腔抽真空,使真空度达到 $6.665 \times 10^{-3} \text{ Pa}$,再用氙气冲洗两次。腔中产生的氙第 3 谱带荧光,经远紫外石英窗口输出后,照射到单色仪的狭缝上。经 Acton VM-502 真空紫外单色仪的分光后照射到胶片上。单色仪中的光栅是 1200G/mm

的凹面光栅,胶片是上海生产的 5FW 胶片。已对胶片进行了严格的相对标定^[11]。标定中采用空心阴极灯做为标准光源,利用阶梯衰减片改变光强,得到了胶片黑度与光强之间的关系曲线。利用该曲线可将获得的胶片黑度转换成光强。

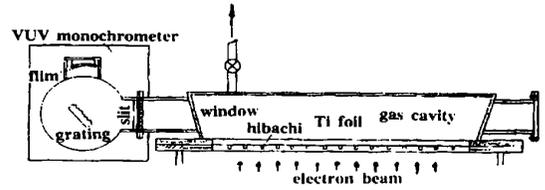


Fig. 1 Experimental setup for fluorescence measurement

2 实验结果与讨论

2.1 二极管电压对荧光谱的影响

同时改变二极管的阻抗和加在二极管两端的电压值,就可实现二极管的电流不变而电压改变,也可实现二极管的电压不变而电流改变。首先保持二极管的电流 17.8kA 不变来改变电压。二极管的电压与它产生的电子束中单个电子的能量有关。当束流一定时,二极管电压逐渐增大时,由于单个电子获得的能量增大,电子束所具有的整体能量在增大。

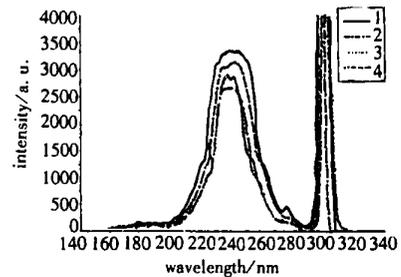


Fig. 2 Fluorescence for different diode voltage
1- 466kV 2- 394kV 3- 322kV 4- 251kV

然而对氙的电离和激发截面来说,当电子能量增大时其截面在减小,因而单个电子能量增大时它与氙原子碰撞的几率在下降。此时电子是否能很好地将能量沉积到氙气中,对本实验而言非常重要。为了对这一问题深入研究,在二极管电流一定的条件下,改变二极管的电压对荧光谱强度的变化进行了观察,所得的实验结果如图 2 所示。此时二极管的电压波形和电流波形如图 3 和图 4 所

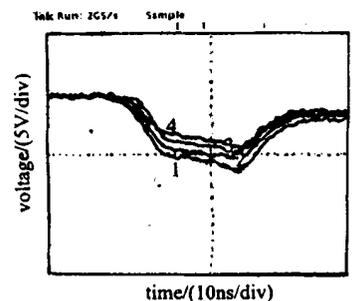


Fig. 3 Voltage waveforms in diode
1- 466kV 2- 394kV 3- 322kV 4- 251kV

示。此时二极管的电压波形和电流波形如图 3 和图 4 所

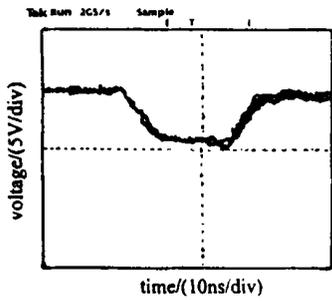


Fig. 4 Current waveforms in diode

结果表明,当电流一定时,随着二极管电压的升高荧光光谱强度在逐渐增大。这说明二极管电压在(466~251) kV 范围内,所产生的电子能量越大对氩第 3 谱带的产生越有利。故在本实验中,要得到强的荧光谱输出,必须增大二极管的电压值。

2.2 二极管电流对荧光谱的影响

当二极管的电压波形一定时,电子束所产生的单个电子能量保持不变。此时电流的增加意味着电子束的束流增加,即二极管能产生更多的电子。随束流的增加,注入腔中电子的数目也必然增加。为了深入研究束流增加对第 3 谱带的影响,通过选择二极管的阴阳极距离和 Marx 发生器中电容的充电电

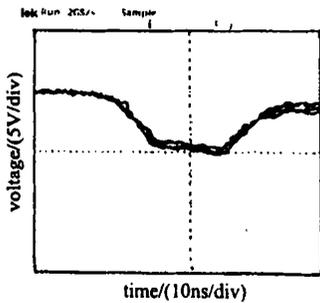


Fig. 5 Voltage waveforms in diode

示。从波形图中可以看出,4 条曲线所对应的电流波形基本重合,而电压波形幅值在逐渐增大。但波形的前后沿及脉宽等参数基本相同。图 2 中的实验

结果表明,当电流一定时,随着二极管电压的升高荧光光谱强度在逐渐增大。这说明二极管电压在(466~251) kV 范围内,所产生的电子能量越大对氩第 3 谱带的产生越有利。故在本实验中,要得到强的荧光谱输出,必须增大二极管的电压值。

压,来保持二极管的电压波形不变,电流波形改变。图 5 和图 6 中给出了二极管的电压波形和电流波形,此时二极管的峰值电压为 350kV。由波形图可知,3 条曲线所对应的电压波形基本重合,而电流波形幅值在逐渐增大。但波形的前后沿及脉宽等参数基本相同。图 7 中给出了获得的荧光谱变化情况。从图中可以看出,随着电流逐渐增加,荧光谱强度也在逐渐增加。这说明二极管电流在(13.3~20.2) kA 范围内变化时,电子束束流的增加对氩第 3 谱带的产生更有利。

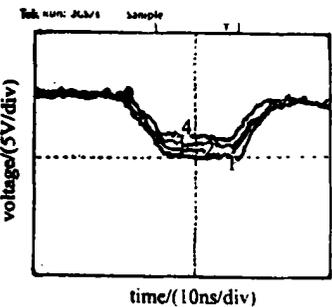


Fig. 6 Current waveforms in diode
1- 20.2kA 2- 18.2kA 3- 15.6kA 4- 13.3kA

合,而电流波形幅值在逐渐增大。但波形的前后沿及脉宽等参数基本相同。图 7 中给出了获得的荧光谱变化情况。从图中可以看出,随着电流逐渐增加,荧光谱强度也在逐渐增加。这说明二极管电流在(13.3~20.2) kA 范围内变化时,电子束束流的增加对氩第 3 谱带的产生更有利。

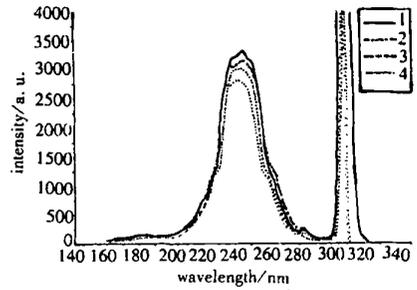


Fig. 7 Fluorescence for different diode current
1- 20.2kA 2- 18.2kA 3- 15.6kA 4- 13.3kA

3 结 论

由于要使电子束二极管处的电压波形和电流波形近似梯形波,必须使二极管的阻抗和传输线的阻抗匹配。这样可以保证二极管能最大效率地吸收传输线的能量。若改变二极管阴阳极的距离,必然要使二极管的阻抗发生变化,影响波形的形状。同时 Marx 发生器充电电压的改变,会使加在二极管两端的电压发生改变,这也会使二极管的阻抗发生变化。故要保证波形的形状没有明显的变化,二极管阴阳极距离和 Marx 发生器的充电电压都不能有过大的改变。这使得在本实验中,电流和电压的改变范围受到限制。另外,对实验中获得第 3 谱带,笔者认为其来源于 Ar_2^{+*} 离子准分子的跃迁^[12]。该离子准分子的前驱粒子是 Ar^+ 离子。所以,当二极管的电流或电压增加时,氩第 3 谱带光强的增加很可能与电子束对氩一价电离过程增加有关。

参 考 文 献

- [1] Robert E, Cachoncinlle C, Pouvesle J M *et al.* SPIE, 2000, 4071: 240~ 247.
- [2] Boichenko A M, Tarasenko V F, Fedenev A V *et al.* Quantum Electron, 1997, 27: 679~ 685.
- [3] Sauerbrey R, Emmert F, Langhoff H. J Phys B: At Mol Phys, 1984, 17: 2057~ 2074.
- [4] Amirov A Kh, Korshunov O V, Chinnov V F. J Phys B: At Mol Opt Phys, 1994, 27: 1753~ 1771.
- [5] Arteev M S, Kuznetsov A A, Sukashin S S *et al.* Opt Spectrosc (USSR), 1987, 63(3): 399~ 401.
- [6] Klein G, Carvalho M J. J Phys B: At Mol Phys, 1981, 14: 1283~ 1290.
- [7] Strickler T D, Arakawa E T. J Chem Phys, 1964, 41(6): 1783~ 1789.
- [8] Robert E, Khacef A, Cachoncinlle C *et al.* Opt Commun, 1995, 117: 179~ 188.
- [9] Langhoff H. Opt Commun, 1988, 68(1): 31~ 34.
- [10] Cachoncinlle C, Pouvesle J M, Durand G *et al.* J Chem Phys, 1992, 96(8): 6093~ 6103.
- [11] 赵永蓬,王振霄,王 骐. 强激光与粒子束, 1997, 9(4): 625.
- [12] 赵永蓬,王 骐,高劭宏 *et al.* 中国激光, 2000, 27(2): 123.