

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0099-04

气体纯度和气压对电子束激励氩中 309nm 光谱的影响

赵永蓬, 王 骥, 吴寅初, 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, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 利用相对论电子束装置激励氩气,研究了气体纯度和气压对 309 nm 光谱的影响。309nm 谱区曾被认为是来源于杂质 H_2O ,然而改变气体纯度的实验表明,增加气体的纯度,不仅没有使 309 nm 的光谱强度减弱,其强度反而明显增加。这与该谱区来源于杂质相矛盾。改变气压的实验表明,309 nm 的光谱强度随气压变化曲线在 0.08 MPa 处存在极大值。并且当气压在 0.1~0.2 MPa 变化时,光谱强度的变化很小。该实验结果表明,309 nm 光谱不是来源于氩准分子或离子准分子的跃迁。因为准分子或离子准分子的主要形成过程是三体碰撞过程,气压的升高对该反应有利。

关键词 309 nm 光谱; 离子准分子; 电子束; 氩
中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A

Effects of Purity and Pressure on 309nm Spectrum of Argon Excited by Electron Beam

ZHAO Yong-peng, WANG Qi, WU Yin-chu, LIU Jin-cheng

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

Abstract The relativistic electron beam is used to excite argon and the effects of purity and pressure on 309 nm spectrum are studied. The experimental results of purity show that the intensity of 309 nm spectrum decreases with the increase of purity. These results are inconsistent with that the 309 nm spectrum would originate from the transition of H_2O . When the pressure of argon is changed, there is a maximum of intensity at 0.08 MPa, and the intensity is almost changeless between 0.1 MPa and 0.2 MPa. Thus, the 309 nm spectrum does not originate from the transition of excimer or ionic excimer, which is mainly formed by three body collision.

Key words 309 nm spectrum; ionic; excimer; electron beam; argon

1 引言

早在 1959 年就有关于 309 nm 谱区的报导,并认为其来源于氩一价离子的跃迁。1963 年 T. D. Strickler 等人以及 1974 年 A. Birot 等人利用 α 粒子激励氩气都观察到了 309 nm 附近较强的谱区^[1,2]。根据实验结果,他们认为该谱区来源于气体中的杂质 H_2O 的 OH 的跃迁。在对氩紫外谱区的光谱研究中,人们发现了 Ar 的第三谱带,其范围是 160~300 nm。综合所有稀有气体第三谱带的波长范围,几乎覆盖了整个 VUV 和 UV 波段(400~60 nm),并且有很宽的带宽,从数十纳米到 100 nm 不等^[3]。由于具有上述特点,所以人们对该谱带一直很感兴趣。

另外,由于 1988 年 H. Langhoff 的假设^[4]使人们产生了更大的兴趣。他认为这一谱带来源于双电离的离子准分子跃迁,并认为它可能代表新一类的 UV-VUV 波段可调谐离子准分子激光器。由于第三谱带的上述优点,使得人们对紫外光谱研究时主要集中在该谱带上,而对 309 nm 不再感兴趣。因而很少有关于 309 nm 谱区的研究工作。

因此我们利用强流相对论电子束装置激励氩气,研究了气体纯度和气压对 309 nm 光谱的影响。

2 实验装置

实验中采用电子束横向激励方式。电子束装置包

基金项目: 国家自然科学基金(60178005)资助课题。

作者简介: 赵永蓬(1973-),男,黑龙江省海伦市人,博士,副教授,现从事离子准分子、毛细管放电软 X 光激光等短波长激光研究。E-mail: zhaoy3@yahoo.com.cn

括 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 3032B 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 发生器首先产生 1 MV 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 膜进入气体腔中激励气体。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 2.67 mPa 的动态真空。

荧光谱的测量装置如图 1 所示。图中电子束通

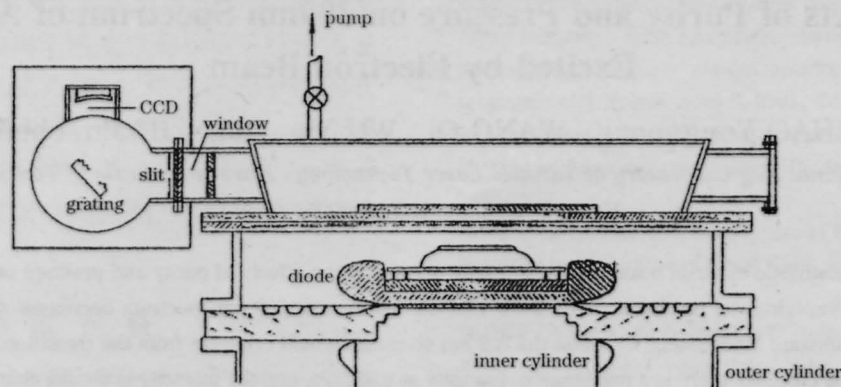


图 1 荧光谱测量的实验装置

Fig.1 Experimental setup for fluorescence measurement

3 实验结果与讨论

利用 5FW 胶片对氩的第三谱带的整个光谱情况进行了观测, 所得的整个谱带形状如图 2 所示。此时腔内充入氩气的气压为 0.2 MPa, 该胶片打了 8 炮。在测得第三谱带的所有谱区中, 中心位于 240 nm

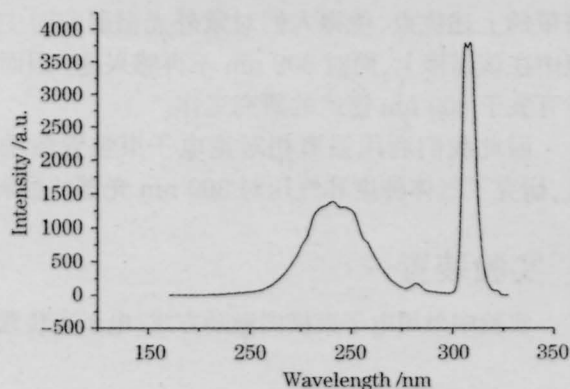


图 2 氩第三谱带形状

Fig. 2 Third spectrum of argon

过 Ti 膜注入到气体腔中来激励氩。气体腔中充入氩气, 在充入氩气之前首先对气体腔抽真空, 使真空度达到 6.67 mPa, 再用氩气冲洗两次。腔中产生的氩第三谱带和 309 nm 荧光, 经远紫外石英窗口输出后, 由美国 Acton 公司生产的 0.3 m 三光栅影象光谱仪分光, 光谱由 CCD 记录。由于 CCD 在 300 nm 以下的量子效率很低, 所以在光谱测量时没有测到第三谱带的光谱, 只测到了波长大于 300 nm 的光谱。对于波长小于 300 nm 的光谱我们用 Acton 公司的 VM-502 真空紫外单色仪分光后照射到胶片上。单色仪中的光栅是 1200 G/mm 的凹面光栅, 胶片是上海生产的 5FW 胶片。我们已对胶片进行了严格的相对标定^[6], 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。利用该曲线可将胶片黑度转换成光强。

附近的谱区宽度最宽并且强度最强。根据小信号增益的测量结果和对动力学过程的理论计算^[6,7], 我们认为中心位于 240 nm 的谱区来源于 Ar_2^+ 离子准分子的跃迁。另外还观察到了中心位于 280 nm 和中心位于 309 nm 的两个谱区。对于中心位于 280 nm 的谱区, 人们对它的研究和讨论非常少, 对其来源没有得出明确的结论。由于当 309 nm 的光谱强度减小时, 240 nm 的光谱强度有明显的增加, 这有利于氩离子准分子的形成, 所以我们对 309 nm 的谱区进行了深入的研究。

首先观察了气体纯度对 309 nm 光谱的影响。当电子束二极管处的电流为 15 kA, 气体纯度为 99.995%, 气压为 0.2 MPa 时测得的光谱如图 3 所示。从图 3 可以看出有一弱的 316 nm 光谱与 309 nm 光谱相连, 同时 337 nm 和 358 nm 处有较强的光谱输出。经光谱分析可以确认 316 nm, 337 nm 和 358 nm 光谱分别来源于 N_2 分子第二正带 ($G^3\Pi_u-$

$B^3\Pi_u$) 的电子-振动能级间的 $1 \rightarrow 0, 0 \rightarrow 0$ 和 $0 \rightarrow 1$ 跃迁^[8]。实验由于气体的纯度不够,使得 N_2 分子杂质被有效的激励,而 309 nm 的光谱强度要比 337 nm 和 358 nm 弱得多。因此需要提高气体的纯度。在相同的实验条件下,利用纯度为 99.9993% 的氩气为介质测得的光谱如图 4 所示。从图中可以看出气体纯度的提高使得 N_2 分子跃迁产生的谱线几乎消失,同时 309 nm 的光谱强度明显增强。309 nm 谱区曾被认为来源于杂质 H_2O , 然而改变气体纯度的实验表明,增加气体的纯度,不仅没有使 309 nm 的光谱强度减弱,其强度反而明显增加。这与该谱区来源于杂质 H_2O 相矛盾。

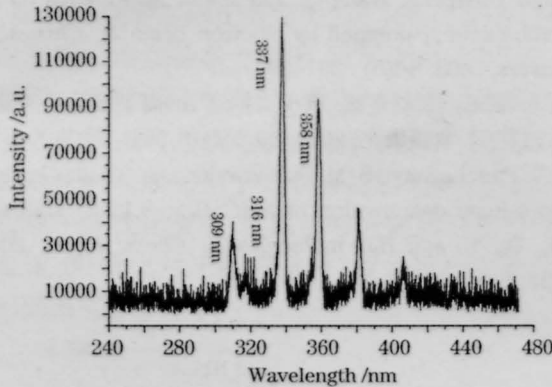


图 3 氩气纯度 99.995% 的光谱

Fig.3 Spectrum of 99.995% argon

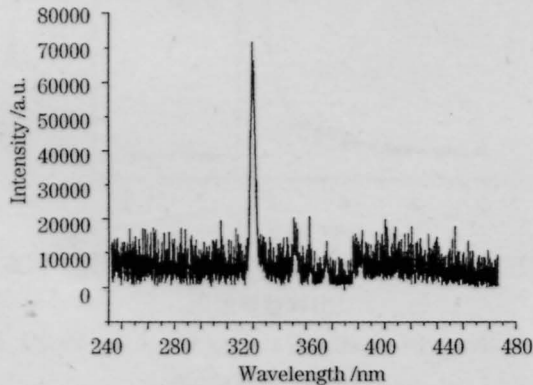


图 4 氩气纯度 99.9993% 的光谱

Fig. 4 Spectrum of 99.9993% argon

利用纯度为 99.9993% 的氩气为介质,在电子束工作参数不变的情况下,改变气压观察了 309 nm 光谱强度的变化情况。测得的光谱强度随气压的变化曲线如图 5 所示。从图中可以看出当压强小于 0.05 MPa 时,气体压强增加时 309 nm 的光谱强度迅速增加。这是由于随着气压的增加电子束在气体中沉积能量增加的缘故。当压强大于 0.1 MPa 时,309 nm 光强变化不明显。该实验结果表明,309 nm 光谱不是来源于氩准分子或离子准分子的跃迁。因

为准分子或离子准分子的主要形成过程是三体碰撞过程,气压的升高对该反应有利,所以增加气压会对三体反应有明显的影

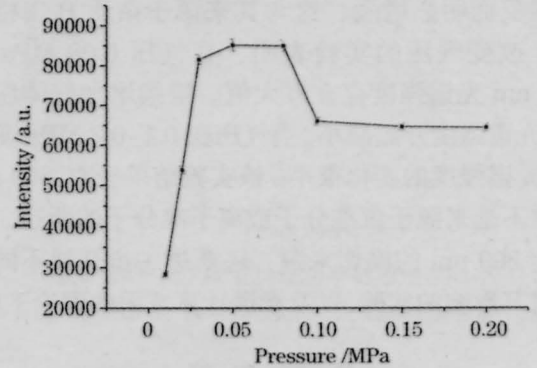


图 5 气压对 309 nm 光强的影响

Fig.5 Effect of pressure on intensity of 309 nm

以上实验中,电子束的二极管处电流为 15 kA。改变电子束装置的参数,使二极管的电流变为 8 kA 时,对 309 nm 光谱进行了研究。此时仍利用纯度为 99.9993% 的氩气为介质,改变气压观察了 309 nm 光谱强度的变化情况。测得的光谱强度随气压的变化曲线如图 6 所示。从图中可以看出当压强小于 0.08 MPa 时,气体压强增加时 309 nm 的光谱强度迅速增加。当压强大于 0.1 MPa 时,309 nm 光强变化较小。该实验结果与图 5 所示的实验结果基本具有相同的趋势,但相同气压下的光谱强度都比图 5 中小,这表明电子束束流的增加有利于 309 nm 光谱的产生。在对氩第三谱带研究中也观察到了光强随束流增加而明显增加的趋势。综合这些实验结果表明,电子束束流的增加有利于其能量在气体中的沉积。

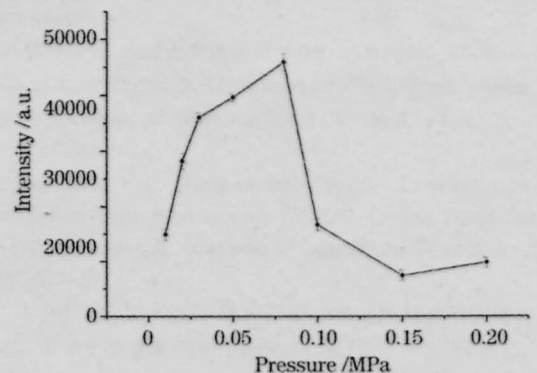


图 6 气压对 309 nm 光强的影响

Fig.6 Effect of pressure on intensity of 309 nm

4 结论

改变气体纯度的实验表明,当气体纯度较低时 N_2 分子第二正带系统被有效地激发,此时对 N_2 分

子来说 Ar 气相当于缓冲气体。提高气体纯度时 N₂ 分子的跃迁明显减弱,这是由气体中 N₂ 的含量明显减少造成的。而此时 309 nm 的光谱强度不但没有减弱反而明显增强,这与其来源于杂质 H₂O 相矛盾。改变气压的实验表明,在气压 0.08 MPa 时 309 nm 光谱强度存在极大值。继续增加气体压力时,光谱强度开始减小。当气压在 0.1~0.2 MPa 变化时,光谱强度的变化很小。该实验结果表明,309 nm 光谱不是来源于氩准分子或离子准分子的跃迁。要确定 309 nm 的确切来源,还要进一步开展不同杂质对其影响的实验,以及光谱计算方面的理论工作。

参 考 文 献

- 1 T. D. Strickler, E. T. Arakawa. Optical emission from argon excited by alpha particles: quenching studies [J]. *J. Chem. Phys.*, 1963, **41**(6):1783~1789
- 2 A. Birot, H. Brunet, J. Galy *et al.*. Continuous emission of argon and krypton in the near ultraviolet[J]. *J. Chem. Phys.*, 1975, **63**(4):1469~1373
- 3 E. Robert, A. Khacef, C. Cachoncinlle *et al.*. Time-resolved spectroscopy of high pressure rare gases excited by an energetic flash X-ray source [J]. *Opt. Commun.*, 1995, **117**:179~188
- 4 H. Langhoff. The origin of the third continua emitted by excited rare gases. *Opt. Commun.*, 1988, **68**: 31~34
- 5 Zhao Yongpeng, Wang Zhenxu, Gao Shaohong *et al.*. The relative calibration for Shanghai 5FW Film [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 1997, **9**(4):627~630
赵永蓬,王振胥,高劭宏等. 上海 5FW 胶片的相对标定[J]. *强激光与粒子束*, 1997, **9**(4): 627~630
- 6 Zhao Yongpeng, Wang Qi, Gao Shaohong *et al.*. Measurement of small signal gain of argon ionic excimer emission pumped by electron beam[J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(2):123~126
赵永蓬,王 骐,高劭宏等. 电子束抽运氩离子准分子跃迁小信号增益的测量[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(2): 123~126
- 7 Zhao Yongpeng, Wang Qi, Liu Jincheng. Kinetics on Ar₂ ionic excimer pumped by electron beam[J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(5) : 391~394
赵永蓬,王 骐,刘金城. 电子束抽运 Ar₂ 离子准分子的动力学过程[J]. *中国激光*, 2003, **30**(5):391~394
- 8 S. V. Pancheshnyi, S. M. Starikovskaia, A. Yu. Starikovskii. Collisional deactivation of N₂(C³Π_u, ν=0,1,2,3) states by N₂, O₂, H₂ and H₂O molecules [J]. *Chem. Phys.*, 2000, **262**: 349~357