

文章编号: 0258-702X(2002)01-0040-03

原子光刻用亚稳态氖原子束源的研究

霍芸生, 蔡惟泉, 曾庆林, 鄢和明, 王育竹

(中国科学院上海光学精密机械研究所量子光学开放实验室, 上海 201800)

提要 研制了一台用于原子光刻的亚稳态氖原子束源, 其束流强度可达 3.3×10^{14} atoms/s·Sr.。研究了束流强度的变化规律, 并对其机理进行了探讨。

关键词 惰性气体, 亚稳态, 原子束

中图分类号 O 431.2 **文献标识码** A

Study on Metastable Neon Beam Source Used for Atom Lithography

HUO Yun-sheng, CAI Wei-quan, ZENG Qing-lin, YAN He-ming, WANG Yu-zhu

(Laboratory for Quantum Optics, Shanghai Institute of Optics and

Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract A neon metastable beam source was built up, from which Neon metastable beam of the intensity of 3.3×10^{14} atoms/s·Sr. was generated. The characteristics of the metastable Neon beam were studied, and the corresponding mechanisms are discussed.

Key words inert gas, metastable state, atomic beam

1 引 言

由于受到衍射极限的限制, 采用汞灯及准分子激光器等紫外光源的光刻技术所能达到的分辨率约在 200 nm 左右。热原子束中原子质波的波长在 0.01 nm 量级, 采用原子束作为光源的原子光刻, 其分辨率可以达到 10 nm 量级, 因而对于纳米技术的发展有很重要的意义^[1~3]。采用惰性气体亚稳态原子束是实现原子光刻的一条重要途径。目前在采用氖亚稳原子束的原子光刻实验中, 已在 AsGa 基板上刻出直径为 50 nm 的圆形微结构^[2]。

为了开展原子光刻的研究工作, 我们研制了惰性气体亚稳原子束源, 并对其特性进行了较为深入的研究。在亚稳原子束的研制方面, 国外已开展了不少工作^[4~6], 但国内尚未见报道。

2 实验装置

实验装置简图如图 1 所示。在内径为 5 mm 的玻璃管的顶端有一口径为 0.15 mm 的小孔, 它被用作喷口。惰性气体从喷口喷出, 并在源室中形成自由射流^[7]。其中心部分通过锥形阳极顶端口径为 0.5 mm 的小孔, 形成准直性良好的原子束并进入试验室。喷口前的滞止压力通常在 1 ~ 20 kPa 之间。源室及试验室的真空度分别维持在 10^{-2} Pa 及 10^{-4} Pa。惰性气体亚稳态原子由置于玻璃管内的阴极与锥形阳极之间的放电产生。阴极由 6 根直径为 0.5 mm 的钨针组成, 锥形阳极由铬制成。阴极与玻璃喷口之间的距离约 10 mm, 而喷口与阳极之间的距离为 5 ~ 10 mm。喷口和锥形阳极之间的准直对放电的稳定和亚稳态原子束的产生有很大影响。通过一特殊设计的密封传动装置, 可对喷口的位置进行精确三维调整。放电电源为一台输出电压为 -1.5

收稿日期 2000-11-23

基金项目 国家自然科学基金(No. 19774060)资助项目。

作者简介 霍芸生(1943—)男, 江苏镇江人, 1966年毕业于中国科学技术大学, 现从事激光物理与技术、原子学等方面研究工作。

kV 的直流电源, 并采用 -10 kV 的高压脉冲触发放电。脉冲电源和直流电源之间用一个电容量为 1 nF 耐压为 10 kV 的高压电容隔离。在直流电路中串联了 65 kΩ 的镇流电阻以稳定放电。

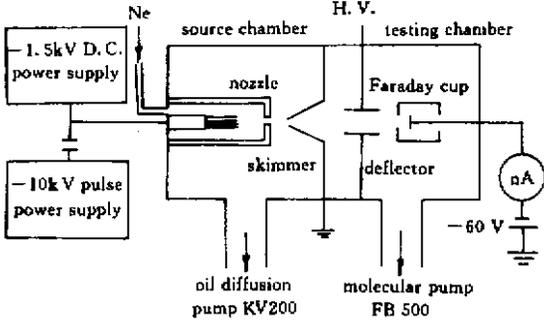


图 1 实验装置简图

Fig.1 Schematic of the experimental setup

穿过锥形阳极顶端小孔的原子束中的亚稳态原子的强度用法拉第杯测量。亚稳原子打在法拉第杯的不锈钢阴极上所产生的二次发射电子由铝筒阳极接收, 串接于法拉第杯电路中的 AC15/6 直流复射式检流计用于测量二次电子流的强度。其灵敏度为 2.2 nA/div, 比国外同类工作所用的皮安表的灵敏度低很多。因此本实验中所用法拉第杯的口径较大, 为 22 mm, 它测量的是较大范围内亚稳原子束强度的平均结果。置于法拉第杯前方的一对偏转板上所加的电压约 1100 V, 其电场使原子束中的电子、离子等带电粒子产生偏转而不能进入法拉第杯。事实上当偏转板上的电压大于 600 V 时, 法拉第杯所测到的电流已与偏转电压的大小无关。可认为带电粒子已全部从原子束中偏转而不能进入法拉第杯。

3 实验结果和讨论

图 2 给出了放电电流固定为 20 mA 条件下, 氖亚稳态原子束强度随源室气压 P_s 的变化, 它在 $P_s = 0.01$ Pa 时, 达到其最大值 2.6×10^{14} atoms/s · Sr。此时喷口前的滞止压力 P_0 为 4 kPa。在文献 [4~6] 中也都观测到了在亚稳原子束实验中最佳源室气压或滞止压力的存在。通常将源室气压高于最佳气压时亚稳原子束流强度的下降归因于基态原子与亚稳原子的碰撞所导致的亚稳原子淬灭速率的增大。因而最佳气压是当气压增加时基态原子密度的增加与亚稳原子淬灭速率的增大之间的一种平衡。

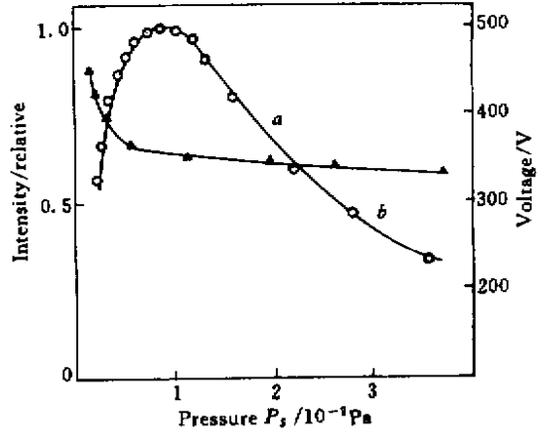


图 2 放电电流固定为 20 mA 条件下, 亚稳态氖原子束强度 (a), 以及放电电压 (b) 随源室气压 P_s 的变化

Fig.2 Metastable intensity of neon beam (a), and discharge voltage (b), as function of pressure of the source chamber P_s with the constant discharge current of 20 mA

电子对气体原子的激发速率是电子能量的函数^[8], 这是放电激励的气体激光器动力学研究中的一个熟知的事实。在本文的实验中由法拉第杯所测量的亚稳态氖原子主要由 $1s_3$ 及 $1s_5$ 态所组成^[4,5]。M. H. Phillips 等对于电子通过与基态氖原子的碰撞产生氖 $1s_3, 1s_5$ 亚稳态的碰撞截面的测量结果表明^{9,10]}, 在电子能量约 16.7 eV 左右达到阈值后, 电子碰撞激发氖 $1s_3, 1s_5$ 亚稳态的截面随电子能量的增加而增大, 并在电子能量约 19.5 eV 达到其峰值 1.7×10^{-18} cm²。当电子能量继续增加时, 电子碰撞激发截面逐渐下降。

为了了解放电区域中的平均场强 $E = V/d$ 与气压 P 的比值 E/P 随源室气压的变化, 我们在放电电流保持恒定值 20 mA 的条件下, 测量了阴阳极间的电压降 V 随源室气压 P_s 的变化。实验中发现, 当源室气压较高时 (约 1 Pa), 气体较易击穿并得到稳定的放电。此后通过逐步调小进气阀门口径以降低源室气压 P_s , 并同时调节放电电压 V , 以将放电电流维持在一恒定值 20 mA。测量结果如图 2 中曲线 b 所示, 随着源室中气压 P_s 的降低, 阴阳极间的电压降 V 却逐步增大, 这表明 E/P 值在增大, 因而平均电子能量也应相应地增大^[7]。在此过程中电子对氖亚稳态 $1s_3, 1s_5$ 的平均激发速率可能将呈现出先上升、并在通过峰值后下降的情况。它将随源室气压下降过程中基态原子数密度的减少, 及其对亚稳原子淬

灭速率下降等因素共同决定了图2中亚稳原子束强度曲线a的峰值位置及强度的最大值。对于此放电过程的深入研究将有助于优化放电参数,提高亚稳原子束强度。

当喷口与锥形阳极之间的距离由5 mm增加到10 mm时,氖亚稳态原子束的强度也有所增强,并在放电电流为23 mA时,测量到其峰值为 3.3×10^{14} atoms/s·Sr。在图3中给出了源室中气压为0.012 Pa时,亚稳原子束强度随放电电流的变化。在18 mA以下的低电流区域,亚稳原子束强度近似随放电电流线性增大。当放电电流进一步增大时,出现了饱和的趋势。

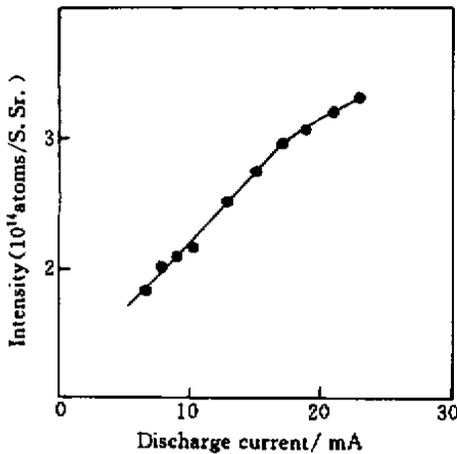


图3 源室气压固定为12 mPa条件下,亚稳态氖原子束强度随放电电流的变化

Fig. 3 Intensity of metastable neon beam as a function of the discharge current. The pressure of the source chamber was fixed at 12 mPa

参考文献

- 1 K. K. Berggren, A. Bard, J. L. Wilbur *et al.*. Microlithography by using natural metastable atoms and self-assembled monolayers [J]. *Science*, 1995, **269**(5228):1255 ~ 1257
- 2 S. J. Rehse, A. D. Glueck, S. A. Lee *et al.*. Nanolithography with metastable neon atoms: Enhanced rate of contamination resist formation for nanostructure fabrication [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **71**(10):1427 ~ 1429
- 3 K. S. Johnson, K. K. Berggren, A. Black *et al.*. Using neutral metastable argon atoms and contamination lithography to form nanostructure in silicon, silicon dioxide, and gold [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**(18):2773 ~ 2775
- 4 D. W. Fahey, W. F. Parks, L. D. Scheerer. High flux beam source of thermal rare-gas metastable atoms [J]. *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1980, **13**(4):381 ~ 383
- 5 J. A. Brand, J. E. Furst, T. J. Gay *et al.*. Production of a high-density state-selected metastable neon beam [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1992, **63**(1):163 ~ 165
- 6 J. Kawanaka, M. Hagiuda, K. Shimizu *et al.*. Generation of an intense low-velocity metastable-neon atomic beam [J]. *Appl. Phys. B*, 1993, **56**(1):21 ~ 24
- 7 G. Scoles. Atomic and Molecular Beams Methods [M]. Vol. 1, Oxford University Press, 1988
- 8 Q. Svelto. Laser Principles [M]. Beijing: Science Press, 1983
- 9 M. H. Phillips, L. W. Anderson, C. C. Lin *et al.*. The electron excitation cross section for the metastable $1s_3$ level in Ne [J]. *Phys. Lett. A*, 1982, **82**(8):404 ~ 406
- 10 M. H. Phillips, L. W. Anderson, C. C. Lin. Method for measuring the electron excitation cross section of the metastable $1s_5$ level of Ne [J]. *Phys. Rev. A*, 1981, **23**(5):2751 ~ 2753