

采用原子汽室磁光阱技术实现铯原子的激光冷却与俘获*

王军民 张天才 杨炜东 贺凌翔 刘海峰** 谢常德 彭 墀

(山西大学光电研究所, 太原 030006)

近 10 年来, 中性原子的激光冷却与俘获方面的研究极为活跃, 取得了许多重要的进展。其中, 1990 年 Wieman 等人提出的直接工作在原子汽室中的磁光阱^[1], 相对简化了原子冷却与俘获的装置和技术, 使这方面的研究得以进一步推广和促进。由于冷原子在玻色-爱因斯坦凝聚(BEC)、原子干涉、冷原子与相干光场及非经典光场相互作用等基础研究领域以及在原子喷泉频标、半导体芯片制造等应用研究领域中有极为重要的意义和诱人的前景, 世界上许多研究机构先后开展了有关方面的研究工作。在国内 1996 年北京大学^[2]和中国科学院上海光学精密机械研究所^[3]分别报道了铯原子和钠原子的磁光阱, 分别进行基于铯原子喷泉频标和原子光学方面的研究工作。

我们利用窄线宽的单纵模半导体激光器作为铯原子冷却与俘获所需的冷却/俘获光源及再泵浦(repumping)光源, 采用原子汽室磁光阱技术实现了对铯原子的激光冷却与俘获, 获得了直径约为 2.4 mm 的超冷铯原子团, 测得被俘获的铯原子数为 2.8×10^8 个, 对应的铯原子平均密度约为 3.9×10^{10} 个/cm³, 初步估算其温度约 300 μ K 量级, 相应的轴向磁场梯度约为 4.8×10^{-4} T/cm, 冷却/俘获光相对于冷却循环跃迁的负失谐量为 15 MHz, 每束冷却/俘获光的功率约为 12.5 mW。本文拟开展冷原子与相干光场及非经典光场相互作用方面的研究。

原子汽室磁光阱, 是利用相互垂直地交汇于一定真空度的原子汽室中的六束激光及其偏振态与空间三维梯度磁场的特定组合对原子的机械作用, 而直接从室温下呈麦克斯韦速度分布的背景原子中冷却与俘获一部分慢速原子, 从而获得超冷原子团。实验系统中使用一个带有若干石英光学窗和一个铯原子源的桶状不锈钢超高真空腔作为铯原子汽室, 其真空度保持在 5.0×10^{-7} Pa ~ 1.2×10^{-7} Pa 范围内。铯原子汽室上装有一对反向亥姆霍兹线圈, 用来产生磁光阱所需的三维空间梯度磁场, 通过调整相应恒流源的电流即可改变空间磁场梯度。使用 SDL 公司生产的 SDL-TC40 型连续可调谐单频半导体激光器(线宽约 300 KHz, 输出功率

* 国家自然科学基金(批准号: 19774039)、山西省归国留学人员科研经费及山西省青年科学基金(批准号: 971012)资助课题。

** 中国科学院陕西天文台, 临潼 710600。

收稿日期: 1998-08-17; 收到修改稿日期: 1998-09-21

约 500 mW) 作为冷却与俘获光源, 使整个磁光阱装置可以稳定工作。采用了来回两次穿过一个工作频率可调谐的声光频移系统的方法, 并结合铯饱和吸收光谱稳频技术, 实现了激光频率可以相对于铯原子冷却循环跃迁线 $6\text{S}_{1/2}F = 4 \rightarrow 6\text{P}_{3/2}F' = 5$ 负失谐偏频锁定, 达到磁光阱对冷却/俘获激光频率的要求。其特点是: 既降低了系统对声光器件衍射效率的要求, 又可通过调谐声光频移器工作频率方便地调节负失谐量而无须再对光路进行调整, 还提高了激光功率的利用率。将冷却与俘获光束扩束为直径约 2 cm 的近平行光束后, 分为功率相等的六束线偏振光, 再经过馈送装置和相应的六个 $\lambda/4$ 波片后, 沿上下、前后、左右三个相互垂直的方向上两两对射地送入铯原子汽室中。六束圆偏振光交汇在空间梯度磁场的零磁场点处, 每束光的功率为 12.5 mW, 其左旋或右旋偏振态与空间梯度磁场呈特定组合。为了避免铯原子在 $6\text{S}_{1/2}F = 3$ 能态聚集, 脱离冷却循环跃迁而不再与冷却/俘获激光作用, 磁光阱还要求中心频率调谐在 $6\text{S}_{1/2}F = 3 \rightarrow 6\text{P}_{3/2}F' = 4$ 跃迁处的再泵浦光束将聚集在 $6\text{S}_{1/2}F = 3$ 能态的铯原子再泵浦回冷却循环跃迁过程中来。实验中使用了线宽约 3 MHz 的单纵模分布布拉格反射式 (DBR) 半导体激光器作为再泵浦光源, 扩束至直径约 2 cm 后与向上的一束冷却/俘获光束合束, 送入铯原子汽室中。上述部分即构成了铯原子汽室磁光阱系统。

实验中还观测到, 在再泵浦光相对于 $6\text{S}_{1/2}F = 3 \rightarrow 6\text{P}_{3/2}F' = 4$ 跃迁线锁定、负失谐、正失谐以及频率在较大范围内调制的四种情况下, 均可以获得超冷铯原子团, 且其影响不太明显, 说明磁光阱对于再泵浦光频率的要求较低。而改变冷却/俘获光相对于冷却循环跃迁的负失谐量, 则明显地影响着冷原子团的大小和荧光强度。关于超冷铯原子温度的测量、磁光阱各参数的进一步优化及其相互依赖关系的研究则正在进行之中。

参 考 文 献

- [1] C. Monroe, W. Swann, H. Robinson *et al.*, Very cold trapped atoms in a vapor cell. *Phys. Rev. Lett.*, 1990, **65**(13) : 1571~ 1574
- [2] Gan Jianhua, Li Yimin, Chen Xuzong *et al.*, Magneto-optical trap of cesium atoms. *Chin. Phys. Lett.*, 1996, **13**(11) : 821~ 824
- [3] Liu Xunming, Lin Yueming, Zhou Shanyu *et al.*, Laser cooling and tapping of sodium atoms in magneto-optical trap. *Chin. J. Lasers*, 1996, **B5**(6) : 511~ 515