

核泵浦气体激光研究

任兴碧

(核物理与化学研究所 成都 610003)

摘要 本文介绍了利用核能激励 Ne、He、Xe、Ar 等气体产生激光这一领域内所取得的成果。利用 ^{238}Pu 源激励 Ne、He-Ar、Ne-He、Ne-H₂体系，测到了 He、Ne、Ar、H₂对 Ne(2p₁)态的倒空速率常数。利用300[#]稳态堆激励 He-He 体系，测得其增益为 $2 \times 10^{-2}/\text{cm}$ 。在CFBR-I 脉冲堆上进行了 He-Ar-Xe 体系的激光实验，测到了激光信号，其波长为 $1.73\mu\text{m}$ ，激光功率约为 10mW。

关键词 核泵浦，CFBR-I 脉冲堆，激光功率。

1 引言

早在第一台激光器出现不久，人们就提出了激光器的核能激发思想。1965年美国阿贡国家实验室的Deshong最早提出了核泵浦He-Ne激光的构思。以美国伊里诺思大学的Miley为代表的一批学者，利用 α 源、稳态反应堆、脉冲反应堆提供的中子场，进行了核泵浦激励 $^3\text{He}-\text{Ne}$ 体系基础性工作。这些工作为 $^3\text{He}-\text{Ne}$ 激光技术的发展提供了必要的实验参数和理论依据。1981年，美国依罗里达大学在稳态反应堆上第一次实现了 $^3\text{He}-\text{Ne}$ 激光增益，获得微瓦级功率输出，发射波长为632.8nm。当前堆泵浦激光物理研究的一个很有前途的分支是 Xe(5d)→Xe(6p)跃迁的原子氙激光器，因为这类激光器具有低至10mW/cm³的激射阈值和高达(2~3)%的泵浦效率。近期，美国能源部发展的FALCON、CENTRUS计划和俄罗斯堆泵浦激光发展计划主要集中在Xe红外激光器上。为了跟踪国际动态，我们进行了He-Ne、Ar-Xe等体系的核泵浦激射实验。

2 实验与结果

2.1 α 激励 He、Ne 等气体的荧光谱的研究

α 激励 He、Ne 等气体的荧光谱的测试主要使用一单光子计数装置^[1]。变换体系中不同气体的压力，获得各体系的光谱图及辐射强度与压力的关系^[2]。根据实验数据可以求出

Ne(2p₁)与 Ne 碰撞速率常数为 $2.2 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$ ，与文献值 $3 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$ 在同一数量级上，Ne(2p₁)与 He 的碰撞速率常数为 $7.6 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ ，与文献值 $10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ 在同一数量级上，Ne(2p₁)与 Ar、H₂的 Penning 反应速率常数分别为 $1.73 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ 和 $1.92 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ ，与文献值 $10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ 很接近。理论算出 Ne(1s₂)与 Ar、H₂发生 Penning 反应速率常数分别为 $10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ 和 $8.66 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ 。由此可知，加入适量的 Ar 或 H₂可获得 Ne(2p₁)→Ne(1s₂)态间粒子数密度反转。

2.2 增益实验

根据300[#]堆的堆体结构，采用双程光路来测量增益^[3]。实验方框图见文献[3]。实验

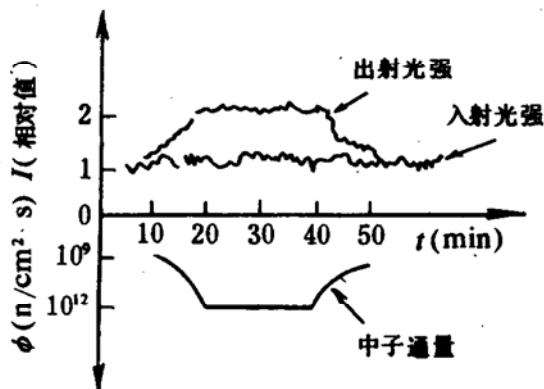


图1 入射光强、出射光强、中子通量与时间的关系

结果见图1。从图中可以看出，增益随时间的变化与中子通量随时间的变化是一致的，入射光强在 $\pm 10\%$ 的范围内波动，而出射光强

增加到原来的两倍。根据实验数据可计算出增益为 $2 \times 10^{-2}/\text{cm}$ 。

2.3 脉冲堆 $^3\text{He}-\text{Ar}-\text{Xe}$ 体系的激射实验

实验装置可分为三部分,即CFBR-I脉冲堆及圆柱形中空慢化体; $^3\text{He}-\text{Ar}-\text{Xe}$ 激光器;诊断系统⁽²⁾。反应堆超瞬爆发脉冲额定产额为 1.4×10^{16} , 中子脉冲宽度为 $200\mu\text{s}$, 堆表面快中子注入率为 $6 \times 10^{14}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。谐振腔为外腔式平凹稳定腔, 两面镜子的反射率均为

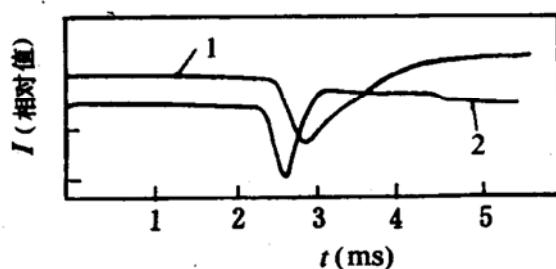


图2 典型的激光与中子时间波形
1 激光输出, 2 CFBR-I 功率

表1 激光功率测量值

序号	MHAX12	MHAX13	MHAX14	MHAX15
堆峰功率(MW)	763.9	926.4	783.3	894.1
信号高度(mV)	11.9	16.9	2.94	7.50
激光功率(mW)	3.27	4.64	7.50	2.08

99.7%。工作介质总压为 $6.98 \times 10^4 \text{ Pa}$, $^3\text{He} : \text{Ar} : \text{Xe} = 130 : 130 : 1$ 。诊断所用探测器为储二

极管, 波长相应范围为 $0.7 \sim 1.8\mu\text{m}$ 。

在堆上一共做了六次激射实验, 图2是典型的激光时间波形和中子时间波形, 实验获得平均慢化时间为 $278\mu\text{s}$, 波长为 $1.73\mu\text{m}$ 。根据实验数据计算的激光功率值见表1。

3 结 论

通过对 He-Ne 激光的机理研究, 可认为加入适当能级倒空剂时, $\text{Ne}(2p_1) \rightarrow \text{Ne}(1s_2)$ 是能够产生粒子数反转从而产生激射的, 波长为 585.2nm 。实验测得 $\text{Ne } 632.8\text{nm}$ 的饱和光强很小 (μW 量级), 所以虽然其增益系数较大, 输出功率仍很小, 理论估算值为 $2\mu\text{W}$ 。我们进行了激射实验, 没有测到激光信号。1991年美国从技术上论证了 Xe 体系堆泵浦激光可获得高功率输出⁽⁴⁾, 我们在约一个大压条件下进行了 $^3\text{He}-\text{Ar}-\text{Xe}$ 体系的激射实验, 测到 mW 级的输出功率, 为今后在更高压力、更高的热中子注入率、更好的谐振腔设计等条件下的高功率激射实验奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 黄整等. 原子与分子物理学报, 1990, 7(3): 1497
- 2 金行星等. 强激光与粒子束, 1994, 6(3): 326
- 3 金行星等. 中国激光, 1992, 19(7): 486
- 4 Pickard, et al. DE93007607

Study of Nuclear Pumping Gas Laser

Ren Xingbi

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003)

Abstract The results of nuclear pumping Ne, He, Ar, Xe are introduced in this paper. ^{238}Pu was used to excite Ne, Ne-Ar, Ne-He, Ne-H₂ systems. The elimination rate constants of Ne (2p₁) by Ne, He, H₂, Ar were measured. 300# stable reactor was used to encourage He-Ne system, the gain measured was $2 \times 10^{-2}/\text{cm}$. Lasing experiment of He-Ar-Xe system was done on CFBR-I pulse reactor, lasing sign was measured, $\lambda=1.73\mu\text{m}$, lasing power was about 10 mW.

Key Words nuclear pumping, CFBR-I pulse reactor, lasing power.