

连续波 DF 化学激光的转动非平衡现象

桑凤亭 黄瑞平 袁启年 庄琦 张存浩

(中国科学院大连化学物理研究所)

提要: 在连续波 DF 化学激光实验中研究了转动非平衡现象。在采用高速混合喷管时首次观察到激光输出谱线强度分布的双峰现象。当使用低速混合喷管或以 HF 为激光工作物性时均不出现。

Manifestation of rotational nonequilibrium in a CW DF chemical laser

Sang Fengting, Huang Rui ping, Yuan Qimian, Zhuang Qi, Zhang Cunhao

(Dalian Institute of Chemical Physics, Academia Sinica)

Abstract: The rotational nonequilibrium phenomenon in a CW DF chemical laser was experimentally studied. The dual-peak character in the output spectral intensity profile was observed with a fast mixing nozzle for the first time. The same phenomenon does not occur with slow mixing nozzles, nor with HF as lasant.

一、引言

早在 1972 年 Polanyi 等^[1]在研究 $F + H_2 \rightarrow HF(v) + H$ 反应的红外化学发光实验时, 就曾发现 HF 及 DF 的转动非平衡布居以及发光强度和转动量子数之间的双峰分布现象, 他们认为这是由于转动弛豫速率随转动量子数 J 值的增大而迅速下降所致。后来在计算连续波 HF/DF 化学激光转动非平衡时就经常引用他的模型, 但有人在连续波 DF 化学激光的实验中观察到转动谱线分布的双峰现象。这里报道我们观察到这个现象的实验结果。

二、实验

图 1 是实验装置示意图。所用燃烧驱动连续波 DF/HF 化学激光器的输出功率约

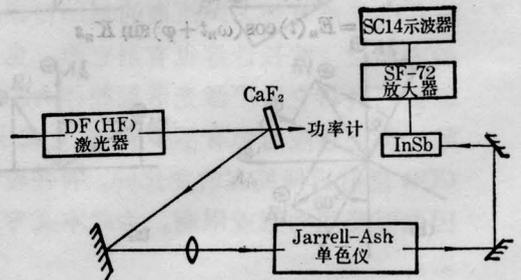


图 1 实验装置示意图

收稿日期: 1985 年 2 月 17 日。

1 kW, 实验采用了混合性能不同的超音速喷管 CL-16 和 CL-2。光腔由二块镀金铜镜组成, 全反镜为柱面镜, 激光通过曲率为 10m 的凹面输出镜上的小孔耦合输出, 光腔长 1m。激光束通过氟化钙片分束后聚焦于单色仪狭缝, 单色仪输出的光用 InSb 探测器探测, 用 SC-14 示波器记录, 单色仪用步进马达带动作扫描, 在 1~2s 内即可将所有谱线记录下来。

全部实验条件不变, 只是在比较 DF 和 HF 激光时输出耦合率有所不同。

三、结果及讨论

用高速混合喷管 CL-16 作 DF 激光实验所记录的激光光谱图示于图 2。三次重复实验的平均结果示于图 3。

由图可看出:

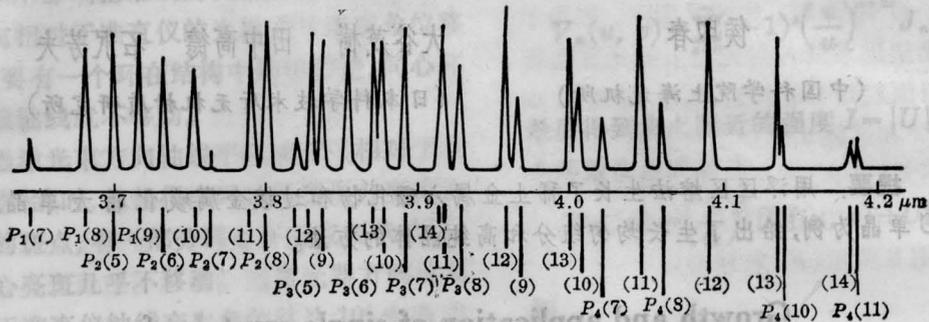


图 2 采用 CL-16 喷管的 DF 激光光谱图

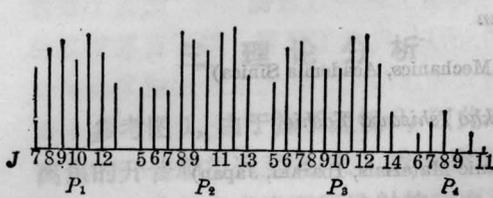


图 3 DF 激光谱线强度分布图

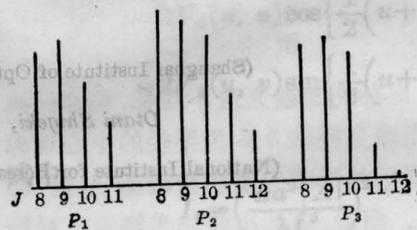


图 4 CL-2 喷管 DF 激光谱线强度分布

(1) 在长波一端出现 6 条新的高 J 值振转谱线, 这些在连续波 DF 激光实验的文献中未见报道过;

(2) 每个 P 支谱带的谱线强度分布呈现双峰分布特征, 与 Polanyi 等在红外化学发光实验中所观察到的现象相似;

(3) 在有些实验中 $P_4(9)$ 谱线几乎消失, 而在它们邻近的谱线却是强线。

为比较起见, 我们用混合速率较慢的 CL-2 喷管作 DF 激光实验, 其结果示于图 4。

由图 4 可以看出, $v=4 \rightarrow 3$ 跃迁带消失, 其它跃迁带的谱线数减少, 双峰分布现象也不再出现。显然, 喷管混合速率对谱线强度分布有很大影响。

用高速混合喷管 CL-16 作 HF 激光实验时, 发现跃迁谱线大为减少, 其强度分布的双峰现象也同样消失(图 5)。由此可以推想 DF 和 HF 的转动弛豫速率有着明显的差

(下转第 221 页)

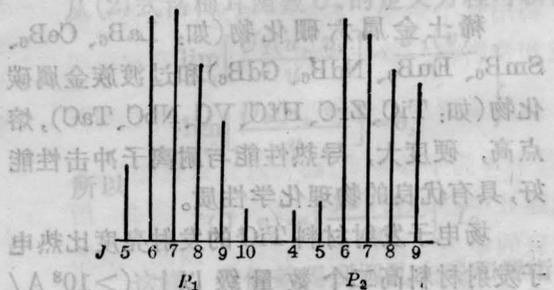


图 5 CL-16 喷管 DF 激光谱线强度分布

全部杂质均在检出限以下。相反,由于 TiO 晶体在生长中组分发生变化,难于用反复区熔办法生长高纯晶体。

三、发射晶针研磨与阴极结构

实验表明, LaB_6 和 TiC 的发射特性与晶体方向有关。对于 LaB_6 $\langle 100 \rangle$ 晶针发射稳定, $\langle 110 \rangle$ 发射效率高;对于 TiC 则 $\langle 100 \rangle$ 和 $\langle 111 \rangle$ 比较好^[6]。将生长出的晶体用劳埃法定向,在电火花切割机上切成小方柱, LaB_6 为 $1 \times 1 \times 4 \text{ mm}$, TiC 为 $0.2 \times 0.2 \times 4 \text{ mm}$,其方向偏差保证在 1° 之内。用电解研磨法加工成具有尖端曲率半径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 的电子发射晶针。电解装置示于图 5,电解液为:对于 LaB_6 ,用磷酸+甘油+水,对于 TiC ,用 $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{水}$ 。将电解液滴在铂金丝小环内,由表面张力形成液体薄膜。可调节电解液浓度,交、直流电压(5V左右),晶柱在数分钟内溶断,形成表面光滑的晶针。

除了铂金丝小环之外,图 5 实际上是 Vogel 型电子发射阴极^[7]。为了减少加热时支柱的变形,支柱材料选用不锈钢。用二块 $1 \times 0.8 \times 0.6 \text{ mm}$ 定向石墨块夹住晶针,用螺钉压紧支柱,保证阴极牢固可靠。这样做成的 LaB_6 阴极,工作温度为 1550°C 时,所耗功率仅 7W。 TiC 场发射阴极,晶针只有 $0.2 \times$

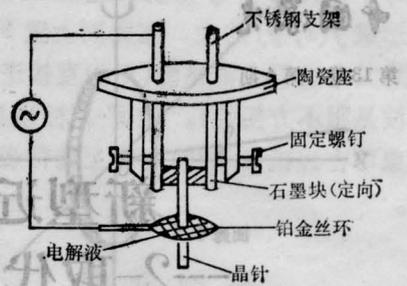


图 5 电解研磨装置示意图

$0.2 \times 4 \text{ mm}$, 发射电子束窄,光源尺寸比热阴极小三个数量级。初步实验结果, Vogel 型电子枪比夹夹式电子枪稳定,比 Broers 电子枪^[8]结构简单,耗电省,比较易于用在电子束装置上。

参 考 文 献

- [1] 大谷茂樹, 石沢芳夫; “科学技术厅无机材质研究所论文集”第 10 集, 1982, pp. 191~198.
- [2] Y. Hou et al.; *J. Cryst. Growth*, 1984, **68**, 733.
- [3] J. Tanaka et al.; *J. Cryst. Growth*, 1975, **30**, 193.
- [4] L. E. Toth; “*Transition Metal Carbides and Nitrides*”, Academic Press, New York, 1971.
- [5] L. M. Adelsberg, L. H. Cardoff, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1968, **51**, 213.
- [6] 炭化ジルコニウムに関する研究; “日本科学技术厅无机材质研究所研究报告書”, 第 40 号, 1984, p. 83~87.
- [7] S. F. Vogel; *Rev. Sci. Instrum.*, 1970, **41**, 585.
- [8] H. Ahmed, A. N. Broers; *J. Appl. Phys.*, 1972, **43**, 2185.

(上接第 217 页)

别。

双峰特征的出现显然是混合、泵浦、传能和激射同时作用的结果。转动弛豫速率对于高转动能级来说是很慢的^[1], 在我们的实验情况下, 绝大部分高转动能级看来并非直接由冷泵浦反应 $\text{F} + \text{D}_2 \rightarrow \text{DF}(v \leq 4) + \text{D}$ 所产生, 而可能是先由热泵浦反应 $\text{F}_2 + \text{D} \rightarrow \text{DF}(v \leq 12) + \text{F}$ 产生高振动激发态 DF 分子, 然后进行快速的振转传能, 产生高转动能级。

这也很可能是连续波 DF 激光采用高速混合喷管形成高 J 粒子高布居的机制, 因为双峰特征与这种高 J 态的粒子数密度有关。

参加本实验工作的还有孙以珠、逢景科、桓长清、李明盛、闵祥德和顾成洲等同志。

参 考 文 献

- [1] J. C. Polanyi, K. B. Woodall; *J. Chem. Phys.* 1972, **57**, 1574.