

钠蒸汽中通过四波参量过程产生 紫外相干辐射的光谱特性

赵理曾 雷子明 张秀兰 江德仪 沈立康 卢振中 聂玉昕

(中国科学院物理研究所)

张景园 高人和 金树衡 李琼如

(中国科学技术大学研究生院)

1984年7月29日收到

提 要

本文报告在钠蒸汽中,通过四波参量过程在 327nm, 328nm, 330nm 及 333nm 处得到紫外相干辐射及对它们光谱特性的研究结果。其中 333nm 信号的可调谐范围较宽,是一可能应用的紫外相干光源。

一、引 言

金属钠蒸汽由于易于得到及能级适于用可见染料激光进行双光子泵浦,因此已有不少人研究^[1,2]。1978年 Hartig 利用四波参量过程,在钠蒸汽中得到了 330nm 及 333nm 相干辐射,从染料激光向紫外辐射转换效率达 5%^[1]。我们用单台染料激光器泵浦钠蒸汽,当泵浦光调谐在钠原子 3s—4d 双光子跃迁频率附近时,观察到 327nm, 328nm, 330 nm 及 333nm 处的相干辐射,研究了它们的光谱特性。

二、实 验 装 置

泵浦激光由 Nd:YAG 激光器泵浦 R6G 染料激光器产生,脉宽为 5ns,线宽为 0.25cm^{-1} ,脉冲功率为 60—600kW,发散角为 4mrad,重复率为 10Hz。染料激光器的输出经一短焦距透镜 ($f = 23\text{cm}$) 聚焦到热管炉中心。从热管炉输出的光束经滤光片挡掉泵浦光,用氟化钙透镜会聚在单色仪的入射缝处。单色仪输出光谱宽度小于 $1\text{\AA}$ 。出射缝处装有光电倍增管,由 Boxcar 处理信号。

三、实验结果和讨论

当泵浦光波长调谐至接近 $3s^2S-4d^2D$ 双光子跃迁时,在 326—340nm 波长范围内几处可以观测到较强的相干辐射。图 1 示出钠蒸汽压为 0.5Torr 时,不同输入功率下 326—

340nm 范围的输出光谱.

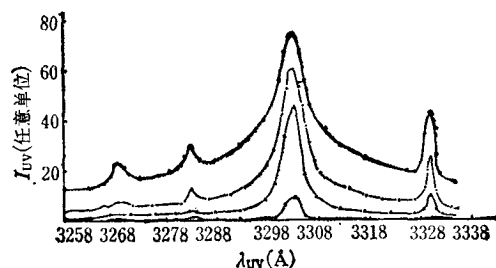


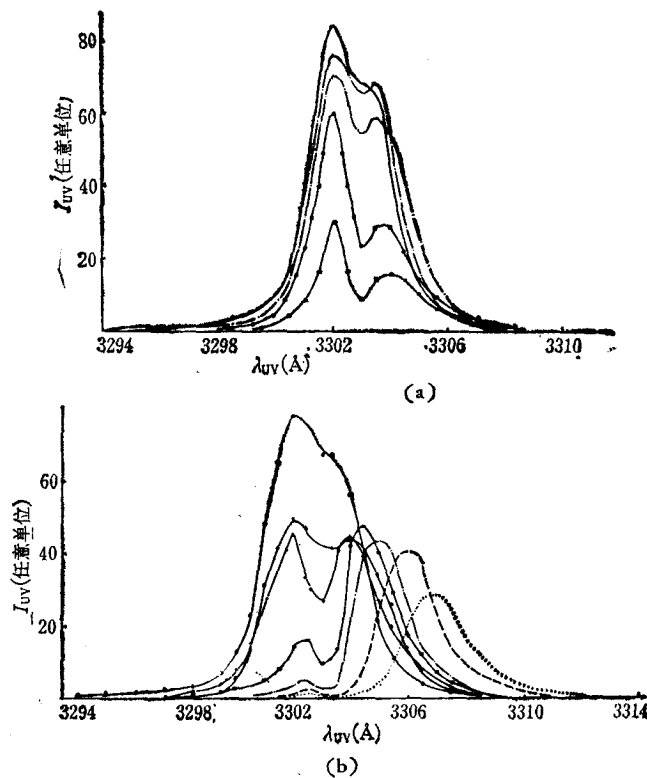
图1 四条曲线自下而上对应的入射脉冲功率分别为 20kW, 100kW, 250kW 和 500kW

如图1所示,除已报道的 330nm 和 333nm 辐射外,在 327nm 和 328nm 处还观察到较弱的信号,它们随泵浦功率上升而增强。当泵浦激光波长变化时,这两个信号出现的波长不变。当钠蒸汽压上升时,它们的强度增加。但钠蒸汽压超过 1 Torr 后,它们的强度随钠蒸汽压的升高而下降。当钠蒸汽压超过 5 Torr 后,这两个信号消失。目前尚未查明这两处紫外辐射的起源。

图2示出在 2Torr 钠蒸汽压和不同泵浦激光波长时, 330nm 处辐射的线型。

330nm 辐射线宽很宽,其线宽随输入功率增加和钠蒸汽压升高而增宽。333nm 辐射线宽要比 330nm 辐射线宽窄得多(但仍比入射激光线宽宽得多!)。表1给出不同钠蒸汽压时 330nm 辐射与 333nm 辐射的线宽值(半极大值处的全宽)。

实验发现,在高的钠蒸汽密度和紧聚焦条件下,当输入激光波长偏离双光子共振条件时,330nm 辐射谱出现双峰结构(见图2)。其中第一个峰(短波长一边的)的波长不随输入激光波长变化,另一峰的波长随入射激光波长有明显变化,且两峰的相对高度也随入射激光波长而改变。在双光子共振时,两峰合成一个。我们认为



(a) 从 $\lambda_p = \lambda_{333d}$ 向短波方向偏调, 5 条曲线峰值高度从低到高依次对应的入射激光波长分别是 578.45nm, 578.60nm, 578.70nm, 578.74nm 和 578.76nm (b) 从 $\lambda_p = \lambda_{333d}$ 向长波方向偏调, 7 条曲线在 330.2nm 处峰值高度从低到高依次对应的入射激光波长分别是 579.80nm, 579.60nm, 579.40nm, 579.20nm, 579.00nm, 578.90nm 和 578.76nm

图 2

双峰的形成与产生红外辐射的两种机制有关。起源于 SEHRS 的受激红外辐射,与入射

表 1 330nm 与 333nm 辐射的线宽

$P_{\text{Na}}(\text{Torr})$	$\Delta\lambda_{330\text{nm}}(\text{\AA})$	$\Delta\lambda_{333\text{nm}}(\text{\AA})$
0.05 (420kW)*	0.9	未见 333nm 信号
0.1 (146kW)	1.3	未见 333nm 信号
0.5 (250kW)	7	1.7
2.0 (200kW)	5	1.8
5.0 (200kW)	6	1.8

* 括号中的数值为输入激光的功率。

激光混频产生的 330nm 辐射的波长,应不随泵浦激光波长而变化。起源于 OPSE 的参量过程产生的 330nm 辐射的波长,将随泵浦激光的波长而变化。另一方面,向长波方向偏调时,对 330nm 辐射的产生,除原子的贡献以外,分子亦有重要的影响^[2],这使与 OPSE 相关的峰的高度,随波长变大下降缓慢,而起源于 SEHRS 的峰,随波长偏调很快下降。

实验中还发现热管炉前聚焦透镜的方位及入射激光焦点(光束的腰)在热管炉中的位置对 330nm 辐射的谱线轮廓有明显影响。

333nm 辐射的峰值波长,随泵浦激光波长的变化有明显的移动。当钠蒸汽压升高时,333nm 信号强度相对于 330nm 信号显著增大。表 2 给出不同的输入激光波长时,333nm 辐射的峰值波长和强度。

表 2 333nm 辐射的峰值波长和强度*

输入激光波长(nm)	333nm 处峰值波长(nm)	相 对 强 度
578.3	332.80	2
578.5	332.95	18
578.6	333.00	27
578.7	333.10	60
578.84	333.15	77
579.0	333.25	64
579.2	333.35	36
579.4	333.45	14
579.6	333.60	3.5
579.8	333.70	1

* 钠蒸汽压 2 Torr, 入射激光功率 200kW。

分析表明, 333nm 信号的峰值频率 ω_{UV} 和泵浦激光频率 ω_{p} 的关系为

$$\omega_{\text{UV}} = 2\omega_{\text{p}} - \omega_{\text{IR}}.$$

其中 ω_{IR} 为由 330nm 信号泵浦产生的受激电子超喇曼散射的斯托克斯光频率, 此红外辐射的波长约为 $2.205\mu\text{m}$ 。测得的 333nm 信号波长与由上式计算出的值的差小于 0.05nm 。

在不同输入功率下, 测量 330nm 与 333nm 信号的相对强度, 发现在低功率时, 330nm 辐射强度比 333nm 处辐射强度大得多。当输入功率为 20kW 时, 330nm 信号与 333nm 信

号的强度比为 11:1. 但当输入功率为 80kW 时, 强度比为 1.8:1, 当输入功率大于 240kW 时, 此强度比趋于定值 1.3:1. Hartig 的实验中, 泵浦功率较低, 因此没有观察到这一结果.

实验结果表明, 在高的钠蒸汽压和高的输入激光功率密度的条件下, 333nm 辐射强度较强. 由于它线宽较窄和具有一定的调谐范围, 333nm 处的辐射是一种可能应用的紫外相干可调谐光源.

参 考 文 献

- [1] W. Hartig, *Appl. Phys.*, **B15**(1978), 427.
- [2] J. K. Chen *et al.*, *Appl. Phys.*, **B33**(1984), 2.

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF UV COHERENT RADIATION GENERATED BY FOUR-WAVE PARAMETRIC PROCESS IN SODIUM VAPOUR

ZHAO LI-ZENG LEI ZI-MING ZHANG XIU-LAN JIANG DE-YI

SHEN LI-KANG LU ZHEN-ZHONG NIE YU-XIN

(*Institute of Physics, Academia Sinica*)

ZHANG JING-YUAN GAO REN-HE JIN SHU-HENG LI QIONG-RU

(*Graduate School University of Science and Technology of China*)

ABSTRACT

UV coherent radiation at 327 nm, 328 nm, 330 nm and 333 nm is generated by four-wave parametric process in sodium vapour. The spectral characteristics is examined. The signal at 333 nm has narrower line width and wider tunable range. So it is possible to use it as a coherent UV source.