

# NO 分子 $A^2\Sigma^+$ 和 $E^2\Sigma^+$ 能级的 LIF 光谱\*

宗明仁\*\* 张培林 赵朔嫣

(清华大学现代应用物理系, 100084)

**提要:** 本文报道了单光子激发 NO 分子  $A^2\Sigma^+(v=0)$  能级的 LIF 光谱研究, 其观测到  $A^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v''=0 \sim 11)$  跃迁的 12 个振动带。运用两步激发的方法, 研究了  $E^2\Sigma^+(v=0)$  能级激发后在紫外波段的 LIF 光谱, 明显测量到了  $E^2\Sigma^+(v=0)$  能级直接跃迁到基态  $X^2\Pi$  的荧光振动带。

**关键词:** NO 分子, LIF 光谱

## LIF spectra of $A^2\Sigma^+$ and $E^2\Sigma^+$ states of NO molecule

Zhong Mingcheng, Zhang Peilin, Zhao Shuoyan

(Department of Modern Applied Physics, Tsinghua University, Beijing)

**Abstract:** The LIF spectrum of  $A^2\Sigma^+(v=0)$  level of NO molecule has been studied by one-photon excitation. Twelve vibrational bands of  $A^2\Sigma^+(v'=0 \sim 11)$  transition were observed. By using the method of two-step excitation, we studied for the first time the LIF spectrum in UV region after the  $E^2\Sigma^+(v=0)$  energy level was excited. The vibrational bands directly from  $E^2\Sigma^+(v=0)$  level to ground state  $X^2\Pi$  were obviously measured.

**Key words:** NO molecule, LIF spectrum

本文将报道两步激发  $E^2\Sigma^+(v=0)$  能级后在紫外波段测量到的激光感生荧光(LIF)光谱, 以及单光子激发  $A^2\Sigma^+(v=0)$  能级后的 LIF 光谱。

### 一、实验装置

实验装置如图 1 所示。倍频的 Nd:YAG 激光器同时泵浦两台染料激光器。其中染料激光器 3 输出的可见激光(573.013 nm)经倍频之后成为紫外激光(286.507 nm), 再与 1.064- $\mu\text{m}$  激光混频产生波长为 225.725 nm 的激光。另一台染料激光器输出可见激光(597.84 nm)。这两束激光经光学元件反射、聚焦后, 在 NO 样品室中同轴共焦, 对 NO 分子进行两步激发。NO 分子的侧向荧光由  $\text{MgF}_2$  透镜  $L_3$  收集到单色仪中分光, 光电倍增管接受, Boxcar(PAR 162/165)积分器处理后由 x-y 记录仪记录。荧光收集系统及单色仪均可采用分子筛吸附泵系统抽真空; 光电倍增管外套抽真空后充 Ar 气保护。

收稿日期: 1990 年 4 月 24 日; 修改稿收到日期: 1990 年 7 月 27 日。

\* 本工作得到国家自然科学基金资助; \*\* 现在北京北方交通大学物理系工作(100044)。

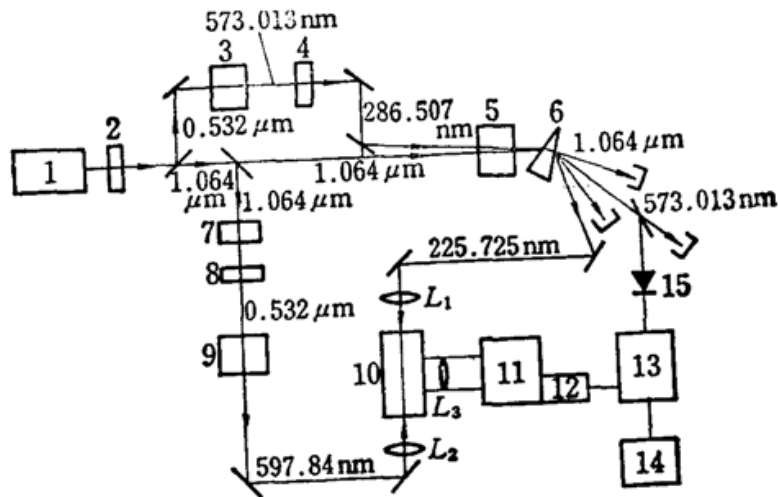


Fig. 1 Experimental setup

1—Nd:YAG laser; 2, 4, 7—KDP SHG systems; 3, 9—dye lasers; 5—mixing system;  
6—prism; 8—filter; 10—sample cell; 11—monochromator; 12—PMT; 13—Boxcar;  
14—recorder; 15—PD trigger;  $L_1, L_2$ —quartz lenses ( $f=400\text{mm}$ );  $L_3$ — $\text{MgF}_2$  lens ( $f=500\text{mm}$ )

## 二、光谱的测量与分析

图 2 是 NO 分子的部分能级图, 并标出了采用的激发过程和观察研究的荧光跃迁过程。

$A^2\Sigma^+$  能级是 NO 分子双重态中第一个激发态。

我们用波长为 225.725 nm 的激光单光子激发  $A^2\Sigma^+$  ( $v=0$ ) 能级, 选用宽带响应的光电倍增管 R456 (160~870 nm) 接受荧光信号, 测量到了它到基态  $X^2\Pi$  的 LIF 光谱, 如图 3 所示。共观测到  $A^2\Sigma^+$  ( $v'=0$ )  $\rightarrow$   $X^2\Pi$  ( $v''=0\sim 11$ ) 12 个振动带, 比以往的文献报道多观察到两个振动带 ( $v''=10, 11$ )。  $A^2\Sigma^+$  ( $v'=0$ )  $\rightarrow$   $X^2\Pi$  ( $v''$ ) 跃迁振动带相对强度的实验值及理论计算值如图 4 所示。从中可以看出, 两者基本符合。

NO 分子  $E^2\Sigma^+$  ( $v=0$ ) 能级的两步激发 LIF 光谱的实验是这样进行的。第一束激光 (225.725 nm) 将 NO 分子从基态  $X^2\Pi$  激发到  $A^2\Sigma^+$  ( $v=0, N=14$ ); 第二束激光 (597.84 nm [对应  $E^2\Sigma^+ - A^2\Sigma^+$  跃迁 R (14) 支], 再将 NO 分子激发到  $E^2\Sigma^+$  ( $v=0, N=15$ ) 能级。用光电倍增管 R 1080 (115~320 nm) 接受荧光信号, 在 175~225 nm 范围内测量到的 LIF 光谱见图 5。图中, 我们明显测量到了  $E^2\Sigma^+$  ( $v=0$ ) 到基态  $X^2\Pi$  的荧光发射振动带。同时还观测到了  $D^2\Sigma^+$  ( $v=0$ )、 $C^2\Pi$  ( $v=0$ ) 到基态的荧光跃迁振动带。这些振动带的波长实验值见下表。

虽然测量到的  $E^2\Sigma^+$  ( $v'=0$ ) 能级直接跃迁到基态  $X^2\Pi$  的荧光振动带强度比较弱, 但说明  $E^2\Sigma^+$  能级存在直接跃迁到基态的荧光发射跃迁通道, 如果进一步提高激发和检测效率, 就可以测到更多的  $E^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi$  跃迁荧光振动带, 从而得到相应的 Franck-Condon 因子等参数

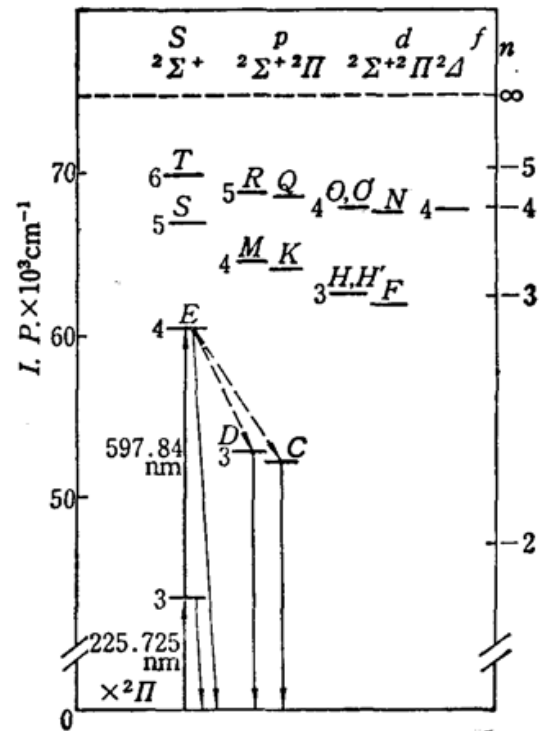


Fig. 2 Energy levels diagram of NO molecule

Transition	$v''$					
	0	1	2	3	4	5
$E^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v')$				181.3	187.1	193.6
$D^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v'')$	188.2	194.8	202.2	209.8	218.0	
$C^2\Pi(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v'')$	191.4	198.4	206.0	214.0	222.4	

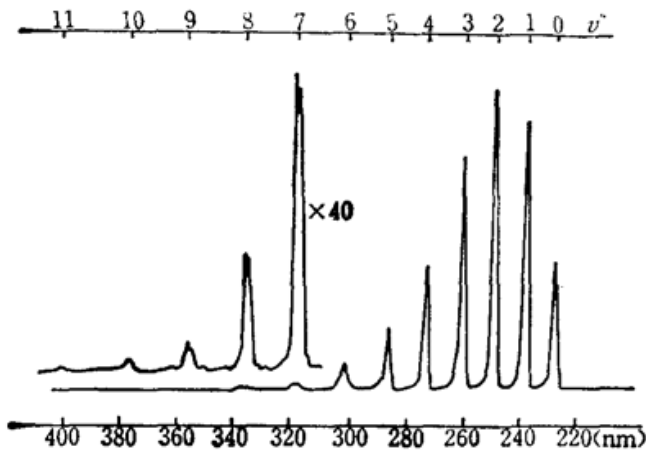


Fig. 3  $A^2\Sigma \rightarrow X^2\Pi(0, v'')$  LIF emission spectrum by one-photon excitation ( $P_{NO} = 90$  Torr, laser wavelength  $\lambda = 225.725$  nm)

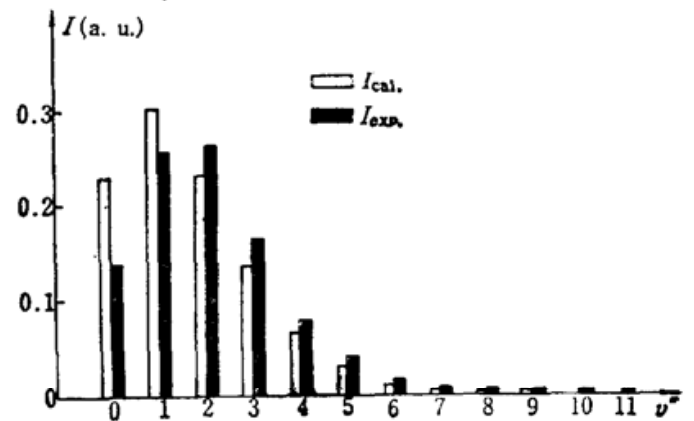


Fig. 4 Experimental and theoretical strengths of  $A^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi(0, v'')$  fluorescent vibrational bands

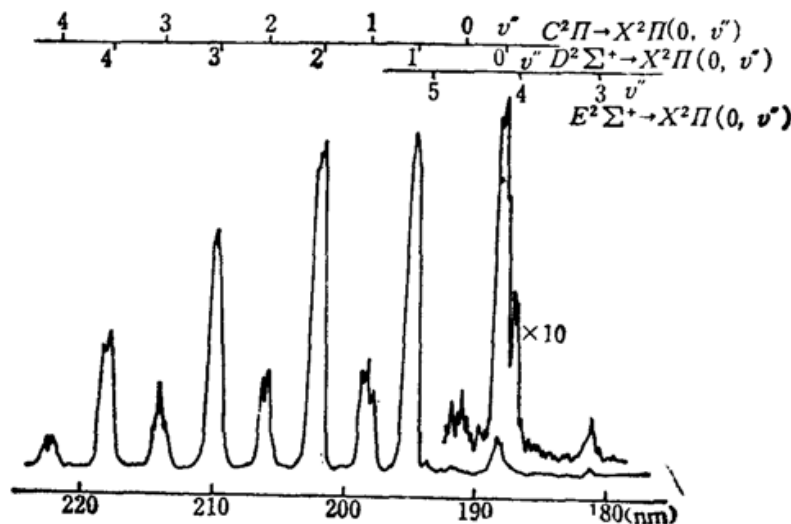


Fig. 5 LIF emission spectrum of  $E^2\Sigma^+(v=0)$  level by two-step excitation ( $P_{NO} = 4.5$  Torr)

的实验值。图 5 中的  $D^2\Sigma^+(v=0)$  和  $C^2\Pi(v=0)$  能级到基态的荧光振动带, 是由于  $E^2\Sigma^+(v=0)$  能级上分子转移到  $D^2\Sigma^+$ 、 $C^2\Pi$  能级上造成的。并且从荧光振动带强度可以看出,  $E^2\Sigma^+$  能级上的分子大部分是通过中间能级  $D^2\Sigma^+$ 、 $C^2\Pi$  串联跃迁回基态的。 $D^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v'')$  跃迁的荧光强度比  $C^2\Pi(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v'')$  跃迁的荧光强度要大。这是由于  $E^2\Sigma^+$  能级上分子转移到  $D^2\Sigma^+$  能级(跃迁振子强度  $f = 0.41^{[1]}$ )的数量比到  $C^2\Pi(f = 0.003)$  能级上多的缘故。

参 考 文 献

1 R. Gallusser, K. Dressler, *ZAMP*, **22**, 792(1971)