

$^{127}\text{I}_2$ 在 633 nm 波段的超精细强谱线及 稳频半导体激光器*

张克明 陈徐宗

(北京大学电子学系, 北京 100871)

藏二军

(中国计量科学院, 北京 100013)

秋元 明 笠原刚 坂本和平 稻场肇

(通商产业省工业技术院计量研究所, 茨城县, 筑波市 305, 日本)

(1998 年 6 月 24 日收到; 1998 年 9 月 23 日收到修改稿)

报道了观察到的碘分子($^{127}\text{I}_2$)在 633 nm 波段的 5 组超精细强谱线, 并对每组谱线的频率间距及相应振转能级的跃迁强度作出了计算, 结果和实验吻合得很好. 利用计算结果, 对这 5 组谱线对应的振转能带作出了甄别. 由于这些新谱线比用于氦氛激光器稳频的 R(127)11-5 跃迁强几百倍, 因此利用这些新谱线作为半导体激光稳频的参考谱线, 得到了功率为 3 mW 的激光输出, 这种半导体激光可成为新型光频标.

PACC: 3520S; 4260; 0630F

1 引 言

稳频在碘分子的 633 nm 波段的氦氛激光被广泛地用作可见光的波长标准, 但由于其功率很低而不能得到广泛应用. 随着半导体激光器的迅速发展, 人们对研制半导体激光器的频标越来越感兴趣^[1-3]. 现在, 633 nm 波段的商用半导体激光器已经进入市场, 这使得在 633 nm 波段发展一种新的半导体激光频标成为可能. 与氦氛激光器相比, 半导体激光器具有较宽的调谐范围和较高的输出功率. R(127)11-5 跃迁的超精细谱线的 a 分量是国际米定义咨询委员会推荐的光频标参考谱线之一^[4], 目前在碘稳频的 633 nm 波段的氦氛激光器上得到广泛使用. 然而, R(127)11-5 跃迁很弱, 相应谱线的信噪比较小, 这在采用腔外碘吸收池时尤为突出, 因此, 有必要采用碘分子的更强的超精细谱线来作为半导体激光器频率稳定的参考线. 本文给出用腔外碘吸收池的饱和吸收观察到的 5 组新的超精细谱线, 其覆盖了包含 R(127)11-5 跃迁在内的 13 个振转能带. 这些新谱线有很大的跃迁强度, 信噪比要比 R(127)11-5 跃迁高得多, 其中最高的信噪比为 340, 这是 R(127)11-5 跃迁的 170 倍.

* 国家自然科学基金(批准号: 69878001)资助的课题.

利用经验公式,我们计算了碘分子每条 $\text{B}^3\Pi_{0u}^+ \leftarrow \text{X}^1\Sigma_{0g}^+$ (以下简称 B-X) 跃迁谱线的超精细分裂的频率间隔,并对其分布规律作出了简单的总结,利用此分布规律或直接利用频率间隔的计算值,并通过计算碘分子 B-X 跃迁的波长和强度,我们可以很容易地定出其相应的振转能带。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示.实验中采用的外腔半导体激光器(Model # 6210, New Focus Inc.)作为一个线宽为 100 kHz 的可调谐相干光源,输出功率为 3.0 mW.采用 Littman 结构和表面增透镀膜激光管(AR coating diode),输出激光可以在 10 nm 范围内调谐而几乎不会产生模式跳跃(mode hopping).激光束通过隔离器 1 后被分为两束:一束是输出光,另一束作为抽运光并被探测.激光频率通过压电陶瓷改变激光器腔长来调制.激光束经过碘的吸收池后,便获得由碘分子超精细结构强度调制的信号光.该信号光的调制频率为 1 kHz,调制幅度为 6 MHzp-p,由一个快速光电管检测后进入锁相放大器(参考频率 3 kHz),

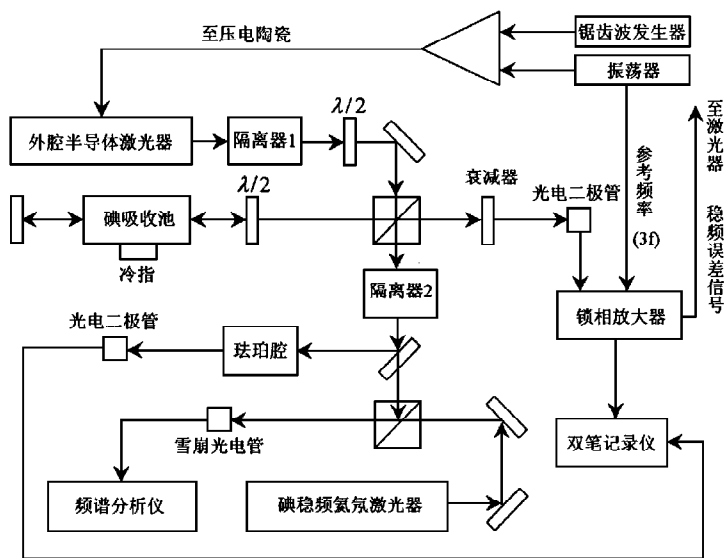


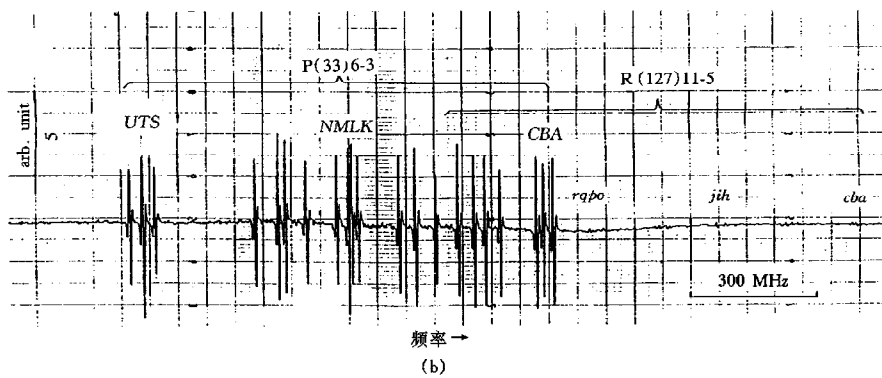
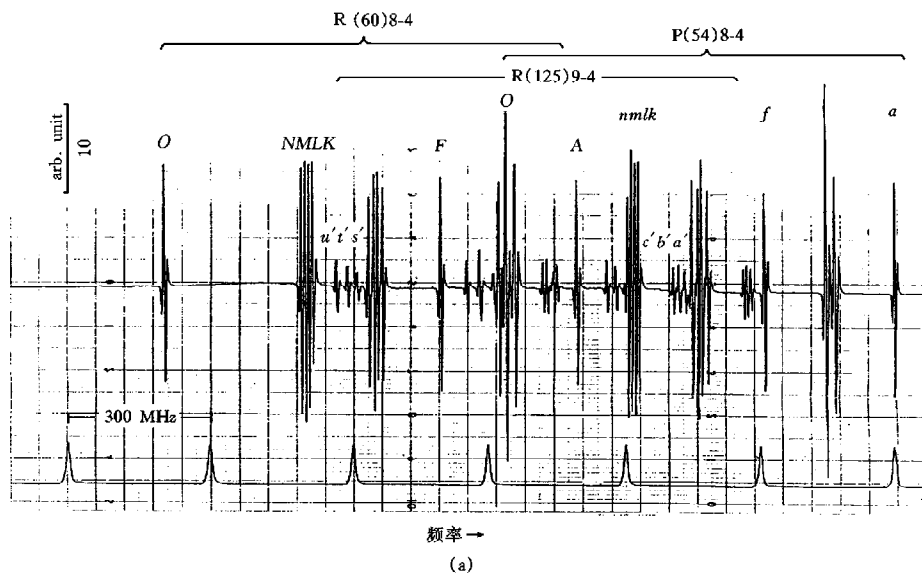
图 1 采用三次微分技术的碘分子饱和吸收光谱实验装置

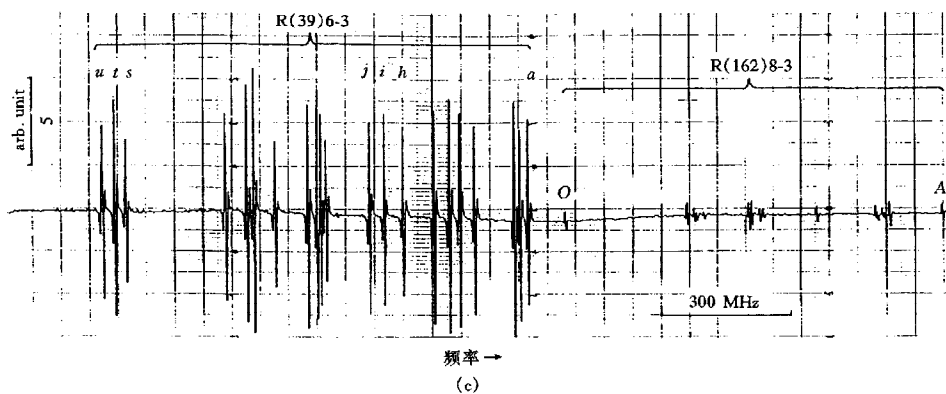
由此可得如图 2 所示的碘分子超精细结构的三次微分信号.双笔记录仪的一支笔记录三次微分后的超精细光谱,另一支笔同时把一个珉珀腔的自由光谱范围(300 MHz)作为频率刻度绘制出来.碘吸收池中的单路抽运功率约 1.8 mW,碘吸收池的冷指(cold finger)温度控制在 $(15 \pm 0.1)^\circ\text{C}$.半导体激光器采用三次微分技术来稳频,其频率稳定度用光学外差技术(optical heterodyne technique)来测量.由于只制作了一台稳频半导体激光器,我们使用一台不确定度优于 2×10^{-12} 的稳频氩氖激光器来作为频率参考.半导体激光器与氩氖激光器的拍频信号用一个带宽 1 GHz 的雪崩光电管(APD)来探测,信号经过一个 40 dB

的前置放大器后, 由一个频率计数器记录.

3 实验结果

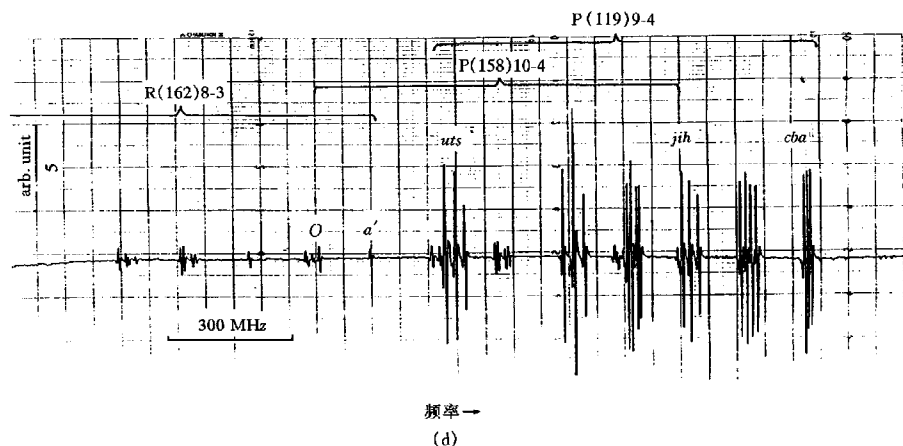
5 组新的超精细光谱的三次微分信号如图 2 所示. 谱线覆盖了 $R(127)11-5$ 跃迁附近从 632.9625 nm 到 633.0087 nm 的波长范围. 通过计算跃迁的强度和解析超精细谱线分布结构来甄别各振转能带(参见本文第 4 部分). 如图 2(a)和图 2(e)所示, $P(54)8-4$ 跃迁和 $R(53)8-4$ 跃迁的信噪比估计各为 310 和 340. $R(127)11-5$ 跃迁的信噪比估计只到 2 (图 2(b)). $R(39)6-3$ 跃迁的 u 分量(图 2(c))的频率比 $R(127)11-5$ 跃迁的 a 分量要高 2625.21 MHz , 而 $R(39)6-3$ 跃迁的最高的信噪比估计为 112, 比 $P(33)6-3$ 跃迁(图 2(b))的还高. $R(53)8-4$ 跃迁(图 2(e))的信噪比要比 $R(127)11-5$ 跃迁的高得多. 其他的新谱线(图 2(a), (d), (e), (f))也同样理想, 可用于 633 nm 波段的稳频半导体激光器. 每组 $R(J) \nu' - \nu''$ 跃迁的超精细谱线的 u 分量(当 J 为奇数)或 o 分量(当 J 为偶数)的绝对频率





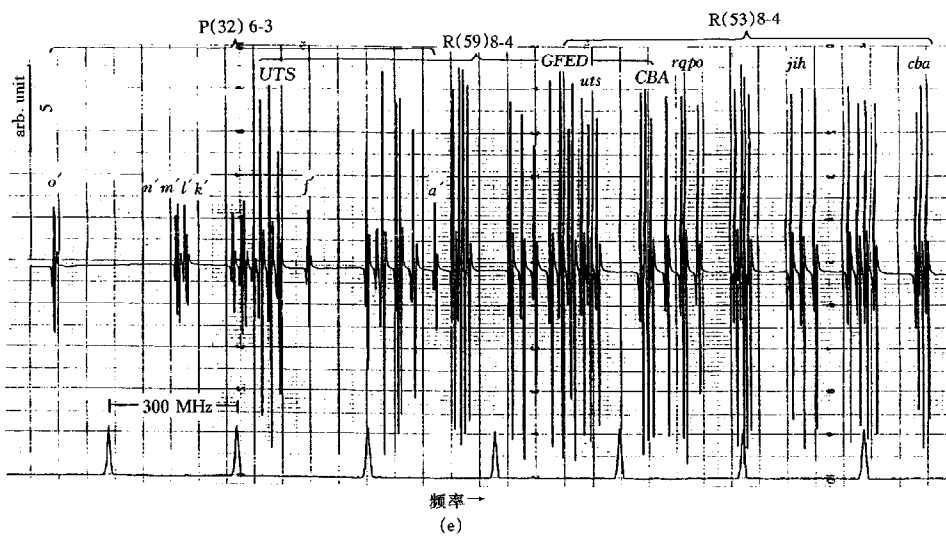
频率 →

(c)



频率 →

(d)



频率 →

(e)

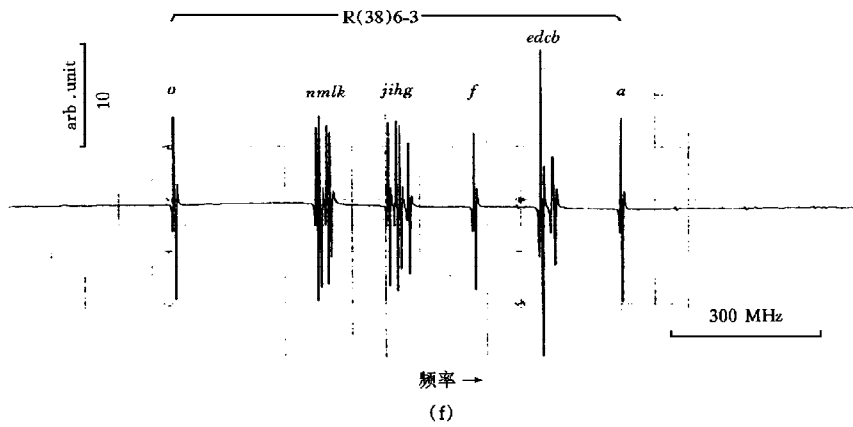


图 2 (a)跃迁 R(60)8-4, R(125)9-4 和 P(54)8-4 的超精细光谱, P(54)8-4 跃迁 c 分量的信噪比估计为 310. (b)跃迁 P(33)6-3 和 R(127)11-5 的超精细光谱, P(33)6-3 跃迁 t 分量的信噪比估计为 74, R(127)11-5 跃迁的每条谱线的信噪比都只约为 2. (c)跃迁 R(39)6-3 和 R(162)8-3 的超精细光谱, R(39)6-3 跃迁 p 分量的信噪比估计为 112. (d)跃迁 R(162)8-3, P(158)10-4 和 P(119)9-4 的超精细光谱. (e)跃迁 P(32)6-3, R(59)8-4 和 R(53)8-4 的超精细光谱. R(59)8-4 和 R(53)8-4 跃迁的大部分分量的信噪比估计为 340. (f)R(38)6-3 跃迁的超精细光谱, 大部分谱线的信噪比估计为 120

通过法拍腔来估计, 误差为 30 MHz , 结果列于表 1 中. 受到光电二极管增益和雪崩光电管 (ADP) 带宽的限制, 要让带宽高于 3 GHz 的光电管或 APD 具有大于 40 dB 的转换增益是相当困难的, 只有 R(39)6-3 跃迁的绝对频率能够用 APD 测量到. R(39)6-3 跃迁的超精细谱频率是通过监视稳频在此超精细谱线的半导体激光与稳频在 R(127)11-5 超精细谱线的氦氖激光的拍频来测量的. 拍频信号用一个带宽较大的 APD (带宽 3 GHz) 来探测, 外差光谱用一台分辨率为 0.5 MHz 的频谱分析仪来测量. R(38)6-3 跃迁的 o, f, a 分量 (图 2(f)) 离其他谱线较远, 是 633 nm 半导体激光器的理想的参考谱线.

表 1 $^{127}\text{I}_2$ 超精细结构的绝对频率测量结果

超精细谱线	波长/nm	频率/MHz	图 2
R(60) 8-4, o	633.008764	473599222	(a)
R(127)11-5, a	632.990997357	473612514.636 ^[4]	(b)
R(39) 6-3, u	632.98748874	473615139.85	(c)
P(119) 9-4, u	632.984694	473617231	(d)
P(32) 6-3, o	632.967172	473630342	(e)
R(38) 6-3, o	632.961560	473634541	(f)

半导体激光器稳频的初步实验是采用三次微分技术进行的. 半导体激光频率锁在 P(33)6-3 跃迁的 u 分量上, 而氦氖激光器的激光锁在 R(127)11-5 的 a 分量上. 频率稳定性用阿伦方差 (Allan variance) 来估计. 图 3 显示了平均采样时间 τ 从 200 ms 到 10 s 相应的频率稳定性, 每个点的重复测量次数为 20. 10 s 后相对不确定度达到 2×10^{-11} .

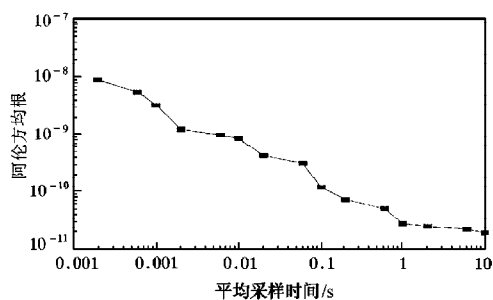


图3 半导体激光器的频率稳定性

4 波长、振转能带强度和超精细结构的计算

4.1 633 nm 波段碘分子振转能带的波长和强度

Gerstenkorn 和 Luc^[5,6]对碘分子振转能带的吸收光谱作出了广泛的研究. B-X 跃迁波长可由相应的波数算出

$$\nu = E(\nu', J') - E(\nu'', J''), \quad (1)$$

其中 $E(\nu', J')$ 和 $E(\nu'', J'')$ 分别为激发态和基态的能级, 它们由下列公式给出:

$$E(\nu', J') = E_{\nu'}(0) + B_{\nu'}K - D_{\nu'}K^2 + H_{\nu'}K^3 + L_{\nu'}K^4 + M_{\nu'}K^5, \quad (2)$$

$$E(\nu'', J'') = E_{\nu''}(0) + B_{\nu''}K - D_{\nu''}K^2 + H_{\nu''}K^3, \quad (3)$$

式中 $K = J(J+1)$, B, D, H, L, M 为离心畸变常数(CDC), 可由文献[7]导出. 相应的强度由下面公式计算^[8]:

$$I = C \frac{S_{J'}^{\nu'}}{2J''+1} N_{\nu'' J''} \nu \left[\int \phi_{\nu' J'} \phi_{\nu'' J''} d r \right]^2, \quad (4)$$

其中 C 为比例系数, 对所有的 B-X 跃迁都相同, $S_{J'}^{\nu'}$ 为转动线强度(Hönl-London 系数), $N_{\nu'' J''}$ 为 (ν'', J'') 能级的布居数, 由玻尔兹曼因子计算, ν 为(1)式给出的波数,

$\left[\int \phi_{\nu' J'} \phi_{\nu'' J''} d r \right]^2$ 为 Frank-Condon 因子(FCF), 它表示上下能级对应的分子振动波函数 $\phi_{\nu' J'}$ 和 $\phi_{\nu'' J''}$ 的重叠程度. $\phi_{\nu' J'}$ 和 $\phi_{\nu'' J''}$ 由下面给出的分子振动的薛定谔方程解出:

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{\partial \phi_{\nu, J}}{\partial r^2} + U(r, J) \phi_{\nu, J} = E_{\nu, J} \phi_{\nu, J}, \quad (5)$$

其中 $U(r, J)$ 为碘分子的有效势能函数^[9], 而 μ 为碘分子的两个原子核的折合质量.

有关碘分子波长在 632.9610 到 633.0134 nm 范围的 B-X 跃迁的振转能带及相对强度的计算结果在表 2 中给出, 其中相对强度以 P(33)6-3 跃迁的为 1 来计算. 大部分振转能带已在我们的实验中观察到, 在表 2 的最右边一列中标出. 这些列出的跃迁具有较大的强度, 因而其超精细信号信噪比也较高. 还有非常多的振转能带由于相对强度非常小而没有列出. 表 2 中列出的振转能带相对强度之所以较大, 是因为它们的 FCF 都比较可观, 布

居数和转动线强度对相对强度的贡献相对较小。

表 2 碘分子 B-X 跃迁在 633 nm 波段的跃迁波长和相对强度

振转能带	波数/cm ⁻¹	波长/nm	相对强度	图 2
R(40) 6-3	15797.4529	633.0134	1.19	
R(60) 8-4	15797.5896	633.0080	1.77	(a)
R(125) 9-4	15797.6022	633.0075	0.42	(a)
P(54) 8-4	15797.6133	633.0070	1.72	(a)
R(74) 12-6	15797.7116	633.0031	0.05	
R(120) 7-3	15797.7275	633.0024	0.54	
P(64) 10-5	15797.7587	633.0012	0.25	
P(114) 7-3	15797.7667	633.0009	0.65	
P(33) 6-3	15797.9755	632.9925	1.00	(b)
R(127) 11-5	15798.0004	632.9915	0.02	(b)
R(39) 6-3	15798.1168	632.9868	1.18	(c)
R(162) 8-3	15798.1497	632.9855	0.12	(c)(d)
P(158) 10-4	15798.1757	632.9845	0.09	(d)
P(119) 9-4	15798.1864	632.9841	0.51	(d)
P(68) 12-6	15798.3840	632.9761	0.05	
P(32) 6-3	15798.6250	632.9665	0.98	(e)
R(59) 8-4	15798.6425	632.9658	1.78	(e)
P(53) 8-4	15798.6649	632.9649	1.72	(e)
R(69) 10-5	15798.7048	632.9633	0.25	
R(38) 6-3	15798.7628	632.9610	1.17	(f)

4.2 超精细结构的计算

超精细结构可通过下面的标准方法计算:

$$H_{\text{hfs}} = H_{R-v} + eQqH_{eQq} + CH_{SR} + dH_{TSS} + \delta H_{SSS}, \quad (6)$$

其中 H_{eQq} , H_{SR} , H_{TSS} , H_{SSS} 分别表示核电四极矩、核自旋-转动相互作用、核张量自旋-自旋相互作用和核标量自旋-自旋相互作用的哈密顿量, eQq , C , d 和 δ 代表各项相应的系数, 振转能量 H_{R-v} 由(1)式给出, 各超精细常数可以通过两种方法来确定: 一种是利用实验数据进行拟合, 另一种是由下面经验公式来计算^[10]:

$$eQq'(\nu') = -0.01721 G(\nu') - 484.89, \quad (7)$$

$$\Delta eQq(\nu') = 1964.8(3) - 0.0130(3) G(\nu') - 1.51(6) \times 10^{-6} G(\nu')^2, \quad (8)$$

$$C'' = 0, \quad (9)$$

$$\Delta C = 0.001 \times \left\{ 23(1) + 418(5) \exp \left[\frac{-4381.249 + G(\nu')}{653} \right] + 0.012(5) F_{\nu'}(J') \right\}, \quad (10)$$

$$d'' = 0, \quad (11)$$

$$\Delta d = -\frac{1}{2} \Delta C, \quad (12)$$

$$\delta' = \delta'' = 0. \quad (13)$$

其中 $G(\nu)$ 和 $F_v(J)$ 分别代表给定能级的振动和转动部分的能量^[7].

表 3 给出了用实验数据拟合得到的 $^{127}\text{I}_2$ R(39)6-3 跃迁超精细结构, 表 4 列出了图 2 中观察到的各组跃迁的超精细结构采用经验公式计算的结果. 从表 4 和图 2 的实验结果都可以看出这些超精细结构都具有一定的分布规则: 当 J 为偶数时, 谱线分成 6 组, 从分量 a 到分量 o (共 15 条), 各组的谱线数目分别为 1, 4, 1, 4, 4, 1, 当 J 为奇数时, 谱线也分成 6 组, 从分量 a 到分量 u (共 21 条), 各组的谱线数目分别为 3, 4, 3, 4, 4, 3. 这个规则对于新谱线的识别非常适用.

表 3 $^{127}\text{I}_2$ R(39)6-3 跃迁的超精细谱线频率间隔的观测值和计算值¹⁾

谱线分量	$\Delta\nu$ 测量值/MHz	$\Delta\nu$ 计算值/MHz	$\Delta\nu$ 测量值 - $\Delta\nu$ 计算值/MHz
<i>a</i>	0.0	0.0	—
<i>b</i>	-18.43	-18.80	0.37
<i>c</i>	-32.25	-32.33	0.08
<i>d</i>	-122.05	-121.66	-0.38
<i>e</i>	-152.80	-152.76	-0.04
<i>f</i>	-175.05	-174.90	-0.15
<i>g</i>	-205.55	-205.63	0.08
<i>h</i>	-267.05	-267.42	0.37
<i>i</i>	-307.80	-307.10	0.29
<i>j</i>	-341.55	-341.66	0.10
<i>k</i>	-437.55	-437.73	0.18
<i>l</i>	-450.05	-450.64	0.59
<i>m</i>	-458.80	-458.91	0.10
<i>n</i>	-480.80	-480.43	-0.37
<i>o</i>	-551.30	-551.47	0.16
<i>p</i>	-593.80	-593.36	-0.43
<i>q</i>	-607.30	-606.86	-0.44
<i>r</i>	-651.30	-651.18	-0.11
<i>s</i>	-869.30	-868.98	-0.31
<i>t</i>	-892.30	-892.62	0.32
<i>u</i>	-917.66	-917.86	0.20

1) $f = 473615139.85$ MHz, $\lambda = 632.9874887$ nm, $\Delta eQq = 1952$ MHz, $\Delta C = 24.73$ kHz, $\Delta d = -16.78$ kHz, $\Delta \delta = 0.00$ kHz.

表 4 图 2 中观察到的超精细谱线频率间隔的计算值

谱线分量	R(60)8-4 /MHz	R(125)9-4 /MHz	P(54)8-4 /MHz	P(33)6-3 /MHz	R(127)11-5 /MHz	R(39)6-3 /MHz
<i>a</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>b</i>	-135.87	-9.16	-135.58	-22.04	-9.29	-18.98
<i>c</i>	-138.50	-17.63	-138.13	-36.89	-17.90	-32.62
<i>d</i>	-154.51	-134.62	-154.95	-118.12	-134.26	-121.68
<i>e</i>	-156.09	-147.99	-156.26	-153.95	-147.68	-152.91
<i>f</i>	-292.61	-162.02	-292.63	-179.48	-162.04	-175.26
<i>g</i>	-422.41	-175.60	-421.95	-214.76	-175.68	-206.20

续表 4

谱线分量	R(60)8-4 /MHz	R(125)9-4 /MHz	P(54)8-4 /MHz	P(33)6-3 /MHz	R(127)11-5 /MHz	R(39)6-3 /MHz
<i>h</i>	-434.40	-277.80	-434.77	-263.40	-276.94	-267.46
<i>i</i>	-443.55	-286.68	-443.27	-310.40	-300.46	-308.51
<i>j</i>	-455.19	-300.88	-455.65	-347.67	-323.44	-342.39
<i>k</i>	-572.66	-430.12	-572.98	-438.83	-428.86	-438.06
<i>l</i>	-581.32	-438.52	-580.54	-453.14	-437.41	-451.14
<i>m</i>	-588.22	-455.50	-588.91	-461.53	-455.24	-459.52
<i>n</i>	-597.17	-501.52	-596.80	-487.38	-464.68	-481.19
<i>o</i>	-877.12	-563.10	-877.06	-547.10	-561.52	-551.79
<i>p</i>	—	-591.48	—	-594.17	-590.26	-594.01
<i>q</i>	—	-594.46	—	-610.71	-593.76	-607.60
<i>r</i>	—	-623.39	—	-660.87	-623.06	-652.18
<i>s</i>	—	-859.55	—	-869.27	-857.06	-869.64
<i>t</i>	—	-855.09	—	-895.17	-883.59	-893.60
<i>u</i>	—	-911.14	—	-923.00	-910.63	-919.05

谱线分量	R(162)8-3 /MHz	P(158)10-4 /MHz	P(119)9-4 /MHz	P(32)6-3 /MHz	R(59)8-4 /MHz	R(53)8-4 /MHz
<i>a</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>b</i>	-132.49	-132.50	-9.08	-131.47	-13.07	-14.29
<i>c</i>	-138.40	-138.25	-17.43	-134.71	-23.71	-25.62
<i>d</i>	-154.31	-153.92	-134.60	-159.70	-128.74	-127.16
<i>e</i>	-159.94	-159.38	-148.09	-159.72	-150.42	-150.91
<i>f</i>	-292.54	-292.00	-161.75	-293.37	-166.82	-168.50
<i>g</i>	-417.77	-417.38	-175.43	-416.08	-188.51	-192.22
<i>h</i>	-427.14	-426.65	-278.13	-436.25	-274.52	-272.99
<i>i</i>	-450.46	-449.32	-300.77	-444.32	-303.93	-304.81
<i>j</i>	-459.85	-458.61	-322.76	-463.11	-330.28	-332.79
<i>k</i>	-560.51	-560.06	-430.77	-572.08	-435.46	-435.92
<i>l</i>	-581.22	-580.34	-439.04	-576.80	-445.73	-446.82
<i>m</i>	-588.62	-587.33	-454.78	-593.94	-454.88	-455.61
<i>n</i>	-609.48	-607.76	-464.04	-599.41	-468.98	-471.22
<i>o</i>	-877.32	-875.68	-563.63	-878.09	-559.75	-557.92
<i>p</i>	—	—	-591.81	—	-592.51	-592.56
<i>q</i>	—	—	-593.91	—	-599.64	-601.20
<i>r</i>	—	—	-622.65	—	-633.61	-637.27
<i>s</i>	—	—	-860.79	—	-867.85	-868.09
<i>t</i>	—	—	-884.98	—	-888.43	-889.21
<i>u</i>	—	—	-909.69	—	-909.86	-911.31

5 结 论

在 633 nm 波段我们观察到了碘分子在 R(127)11-5 跃迁附近的 13 个振转能带、5 组具有很高强度和信噪比的超精细光谱,这些谱线可作为稳频半导体激光器频标的参考谱

线. 我们制作了一个可调谐的稳频半导体激光器, 其频率稳定度达到 2×10^{-11} , 经过改进, 频率稳定度可达到 10^{-12} . 此外, 我们给出对振转能带波长、强度和超精细结构的计算示例, 对超精细结构的分布规则给予总结, 并预言了 633 nm 附近碘分子的部分强度较大的超精细谱线的结构.

感谢盛永笃郎教授(日本东京理科大学)在超精细结构的计算方面给予的许多帮助.

- [1] T. Kurosu, J. Ishikawa, N. Ito, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **36**(1997), 4513.
- [2] C. S. Edward, G. P. Barwood, P. Gill, F. Rodriguez-Llorente, W. R. C. Rowley, *Opt. Comm.*, **132**(1996), 94.
- [3] X. Z. Chen, K. M. Zhang, in *Proceedings of SPIE*, 3547(1998), 194.
- [4] T. J. Quinn, *Metrologia*, **30**(1993/94), 523.
- [5] S. Gerstenkorn, P. Luc, J. Sinzelle, *J. Physique*, **41**(1980), 1419.
- [6] S. Gerstenkorn, P. Luc, R. Vetter, *Revue Phys. Appl.*, **16**(1981), 529.
- [7] S. Gerstenkorn, P. Luc, *J. Physique*, **46**(1985), 867.
- [8] G. Herzberg, *Spectra of Diatomic Molecules*(Van Nostrand) 1970.
- [9] R. N. Zare, *J. Chem. Phys.*, **40**(1964), 1934.
- [10] A. Razet, S. Picard, *Metrologia*, **33**(1997), 181.

STRONG HYPERFINE SPECTRA OF $^{127}\text{I}_2$ AT 633 nm AND FREQUENCY STABILIZED TUNABLE DIODE LASER

ZHANG KE-MING CHEN XU-ZONG

(Department of Electronics, Peking University, Beijing 100871)

ZANG ER-JUN

(National Institute of Metrology, Beijing 100013)

YOSHIAKI AKIMOTO TAKESHI KASAHARA KATSUHIRA SAKAMOTO HAJIME INABA

(National Research Laboratory of Metrology 1-4, UMEZONO-1, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan)

(Received 24 June 1998; revised manuscript received 23 September 1998)

ABSTRACT

In this paper, five groups of stronger hyperfine transitions of iodine molecule ($^{127}\text{I}_2$) are reported, which are to our knowledge first observed by us. Frequency separations and relative intensities of each transition are calculated. The calculated results and the observed values match very well. With the calculated results, we assigned the vib-rotational bands of each transition. Because the intensities of the newly observed transitions are hundreds of times stronger than transition R(127)11-5, which is applied to frequency-stabilized He-Ne laser, we use them as reference lines of iodine frequency stabilized tunable diode laser and get an output laser of 3 mW. This kind of frequency-stabilized diode laser may become a new kind of frequency standard.

PACC: 3520S; 4260; 0630F

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 69878001).