

# 用于光电流光谱研究的半导体激光器的 线性温度调制

李世忠 朱振宁

(中央大学光电研究所 台湾中坜 320)

**提要** 利用自行设计的电子反馈控制线路,将半导体激光器频率作线性调谐,使激光频率能连续调谐达 60 GHz 而不发生跳模(mode hopping)。利用这种线路量取的锂 2S-2P 谱线(670.8 nm),连超精细结构(HFS)都能看见。

**关键词** 光电流光谱, 半导体激光器, 热电温控

## 1 引 言

1976 年底,美国国家标准局(NBS,现 NIST)R. Green, R. Keller, G. Luther, P. Schenck 及 J. Travis<sup>[1]</sup>等发表了利用染料激光器,射入中空阴极放电管而不经光学仪器量得 Ca, Li 等元素光谱之后,光电流光谱则因方法简单,又不需昂贵的精密光学仪器而能够量得高品质光谱,以及提供许多频率标准而深受重视<sup>[2~6]</sup>。

光电流光谱是一种方法简单而效果极好的光谱量取技术。当中空阴极放电管产生放电时,放电等离子体中呈原子、离子或原子团状态的待测物,经多种不同的途径,如电荷传送、潘宁反应、电子碰撞等逐渐受激而游离。此时将波长适合的激光,经光斩波器射入已达平衡状态的放电装置中,此时只要放电等离子体中任何相关能量能级的粒子数因激光照射而改变,就可导致等离子体对外表现的阻抗变化,此项变化可经灵敏的锁相放大器检测到<sup>[2]</sup>。图 1 所示就是典型的光电流光谱量取实验装置。

由于半导体激光器具有体积小、寿命长、效率高、耗电低、冷却简单、可直接高速调制等优点,已广泛应用于光纤通讯、光存储、精密测量等领域中。

尤其随着半导体激光器的波长覆盖波段日阔,功率日增,稳定度渐渐提高等特点,大家都看好半导体激光器在原子、分子光谱研究上的潜力<sup>[2,7]</sup>。半导体激光器频率可调谐的优点在

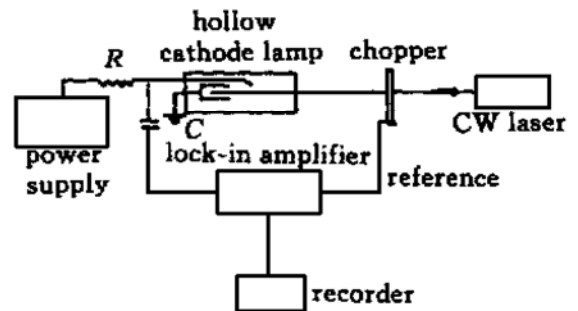


图 1 光电流光谱实验装置图

Fig. 1 Experimental arrangement of optogalvanic spectroscopy

于不需要复杂的机械结构与繁琐的频率调谐技术,只需改变激光器的工作电流以及激光器的温度就足够应用。一般说来,若只改变激光器工作电流,激光器频率通常变动的范围很小,无法达到实用的要求;而改变半导体激光器温度,则可获得相当大的频率变动。因此若能解决激光器温度线性调谐的问题,就可以将其广泛地应用在原子、分子光谱的研究中。

## 2 影响半导体激光器频率的一些因素

半导体激光器频率主要由半导体材料的能隙宽度决定,而能隙宽度是随温度而改变的。当温度上升时,能隙宽度减少,使得激光器发光频率减少。反之,温度下降时,激光器频率增加。激光器频率可调性主要是因为激光器谐振腔长度与增益曲线两者都随温度改变。同时激光器输出频率亦与激光器工作电流有关,因为激光器工作电流改变时,不但改变激光器温度,也改变了载流子密度进而改变折射率<sup>[7]</sup>。

## 3 半导体激光器频率的线性调谐及实验结果

利用 Peltier 效应制成的热电冷却器 (thermoelectric cooler, TE cooler),是控制半导体激光器温度最方便的元件。当 *n* 型与 *p* 型的热电材料连接后,通过电流,接连处会产生吸热与放热现象,吸热或放热由电流方向决定。因此将半导体激光器装在热电冷却器的吸热面上,利用通过热电冷却器的电流大小,就间接控制了激光器的温度。由于激光器输出频率与激光器温度成正比关系<sup>[8]</sup>,因此,只要控制激光器温度上升率保持一定,即可使激光频率作线性改变。

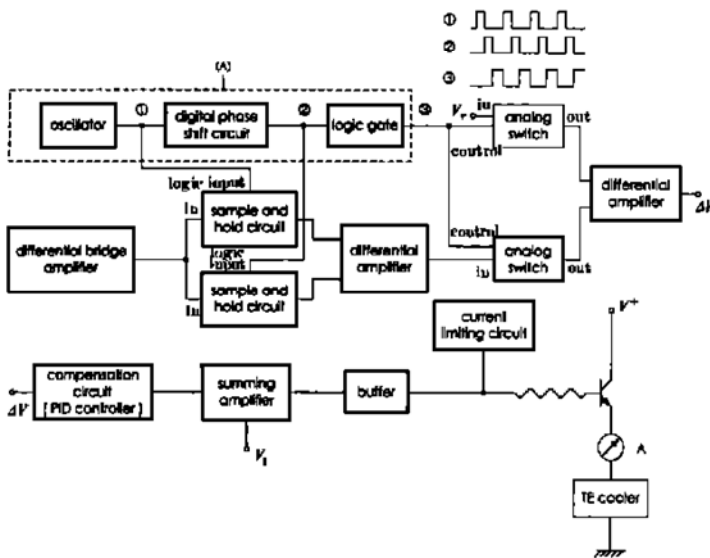


图 2 温控线路方块图

Fig.2 Functional block diagram

为使激光频率作线性调谐,我们设计的电子反馈控制线路,如图 2 所示。方块 (A) 中三组逻辑信号①②③,其时序的关系如图。它们分别控制两组取样/保持线路 (sample and hold circuit) 及两组类比开关 (analog switch) 以决定取样,保持控制的时间。接着我们将一个热敏电阻装在惠斯顿桥状的电阻组合之中,电桥输出经放大器放大,构成一组电桥差分放大器,再经两组取样/保持线路与差分放大器构成一个时间可调的取样线路,进而读取电压信号随时间的变化率,再与预设(可变)的参考电压 ( $V_r$ ) 相比较,由类比开关、差分放大器产生误差信号  $\Delta V$ ,经补偿控制线路后,与外

加控制信号 ( $V_1$ ) 由加算放大器相加后,反馈控制冷却器的工作电流,使热电冷却器随时间变化率保持一定,进而激光器温度上升亦保持一定,也就使激光频率的变动率保持一定。

量取光电流光谱时,先将激光频率调至原子跃迁谱线中心附近。选定激光器的工作电流并保持不变,利用波长计测激光波长,然后将热电冷却器通上电流,开始控制激光器温度。接着量取光谱,视所得光谱,细调激光波长到合适位置。实验采用 Toshiba TOLD 9211 半导体激光器 (InGaAlP, 波长 670 nm)。这种折射率导波 (index guided) 结构的激光器,在工作电流稍大

时,即可单纵模输出<sup>[15]</sup>。激光线宽大约在 20 ~ 50 MHz<sup>[7]</sup>,对于量取中空阴极放电管中之光电流光谱,通常谱线宽度在 GHz 量级,极为合适。由于制造时的困难,同型号的半导体激光器输出光波长并不相同,因此,实验前的粗测、挑选非常重要。我们选择室温波长在 672.0 nm 的激光器,先将其冷却至 11 °C,再缓慢地冷却到 9 °C,同时记录锂元素的共振谱线<sup>[9]</sup>。天然锂 2S-2P 的谱线如图 3 所示(注:德国 T. W. Hänsch 与美国 J. L. Hall 等亦曾量取同一谱线<sup>[10]</sup>)。天然锂中,有两种同位素,<sup>7</sup>Li 含量为 92.6%,<sup>6</sup>Li 则为 7.4%左右,图 3 中左起依次为 Ne 670.8 nm 谱线,<sup>7</sup>Li  $2^2P_{3/2} \rightarrow 2^2S_{1/2}$ , <sup>7</sup>Li  $2^2P_{1/2} \rightarrow 2^2S_{1/2}$  及 <sup>6</sup>Li  $2^2P_{3/2} \rightarrow 2^2S_{1/2}$  的重合。其中不但<sup>6</sup>Li 及<sup>7</sup>Li 谱线清楚可辨,连<sup>7</sup>Li 的  $2^2S_{1/2}$ ,  $F = 1, 2$  的超精细(HFS)结构亦清晰可见。光谱下方是利用 Fabry-Perot 干涉仪给出的频率刻度。整个光谱覆盖大约 60 GHz,没有跳模发生。

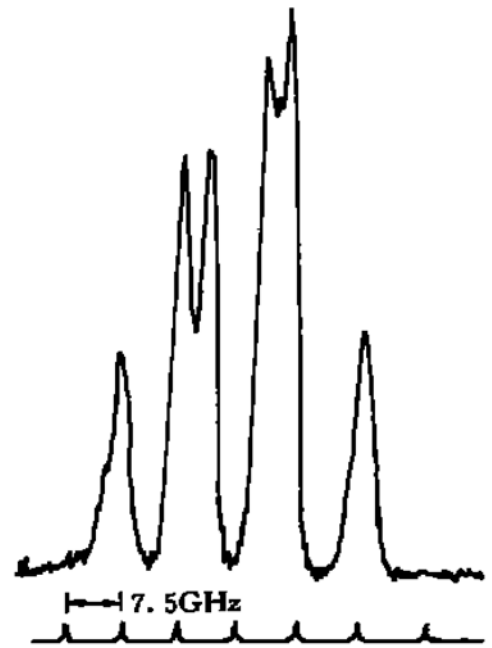


图 3 天然锂 670.8 nm 2S-2P 之谱线  
Fig. 3 Hyperfine structure of the 670.8 nm resonance line, 2S-2P, of natural lithium

## 4 讨 论

我们利用简单的线路以及容易取得的电子元件设计的电子反馈控制线路,在不要求大范围频率扫描时,能在约 60 GHz 频率范围内得到不错的线性频率调谐且没有跳模发生,此时实际的温度变化在 2 °C 左右,对于应付大部分的原子光谱量取需要已经足够。但利用此种温度控制方法,并非任何频率均可调出,有时亦需稍改激光器工作电流,以补助单独使用温度控制方法的不足。甚至有时也会发生无论如何调谐,也产生不了某段频率的困扰<sup>[7,8]</sup>。

为了解决温度变化的惯性滞后问题,除了增加半导体激光器的热传导面积,加强传导效率(适当的地方涂以 thermal compound),还需延长光谱的量取时间,即可让温度滞后的效率减至最低。

如果需要在范围的 ( $> 10$  nm) 连续调谐激光器输出频率,则常在激光器前端面镀上减反射膜 (AR coating),设法加长激光器谐振腔 ( $\sim 0.3$  nm) 至数厘米左右,并在腔内置入一个光栅或其他的调光元件,制成外腔式半导体激光器<sup>[11~14]</sup>,只是这样涉及比较复杂的光学与机械结构及繁琐的调谐频率技巧,要费很大的功夫才行。

## 参 考 文 献

- 1 R. B. Green, R. A. Keller, G. G. Luther *et al.*. Galvanic detection of optical absorptions in a gas discharge. *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29**(11): 727 ~ 729
- 2 P. Camus. Atomic spectroscopy with optogalvanic detection. *J. Phys. C*, 1983, **7**: 87 ~ 106
- 3 E. Langlois, J.-M. Gagné. Zirconium isotope shift measurement using laser pumping and optogalvanic detection. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1994, **11**(4): 552 ~ 557
- 4 U. H. P. Fischer, C. von Helmolt. Absorption spectra of excited Kr 84 states between 1.5 and 1.58  $\mu$ m and their use for absolute frequency locking. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(2): 139 ~ 143
- 5 E. C. Jung, Do-Young Jeong, K. Song *et al.*. High-resolution optogalvanic spectroscopy of GdI. *Opt. Commun.*, 1997, **141**(1, 2): 83 ~ 90

- 6 Wang Ruifeng, Cai Borong, Hu Yu *et al.*. Study of the frequency stabilization of InGaAsP semiconductor laser using the optogalvanic effect of a gas absorption cell. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **25**(1):37~40 (in Chinese)
- 7 C. Wieman, L. Hollberg. Using diode laser for atomic physics. *Rev. Sci. Instrum.*, 1991, **62**(1):1~20
- 8 Laser Diodes/Hologram Lasers Data Book. Sharp Corporation, 1998
- 9 T. Hof, D. Fick, H. J. Jansch. Application of diode lasers as a spectroscopic tool at 670 nm. *Opt. Commun.*, 1996, **124**(3,4):283~286
- 10 B. Scheumann, D. Meschede, T. Hänsch *et al.*. Stabilized visible diode laser for high resolution spectroscopy. presented at CLEO/IQEC'90, paper QTH19, Anaheim, CA, USA, 1990
- 11 K. C. Harvey, C. J. Myatt. External-cavity diode laser using a grazing-incidence diffraction grating. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(12):910~912
- 12 L. Ricci, M. Weidemüller, T. Esslinger *et al.*. A compact grating-stabilized diode laser system for atomic physics. *Opt. Commun.*, 1995, **117**(5~6):541~549
- 13 T. Day, M. Brownell, I.-Fan Wu. Widely tunable external cavity diode lasers. *Proc. SPIE*, 1995, **2378**:35~41
- 14 D. Wandt, M. Laschek, F. V. Alvensleben *et al.*. Continuously tunable 0.5 W single-frequency diode laser source. *Opt. Commun.*, 1998, **148**(4~6):261~264
- 15 TOLD9211, TOLD9215, TOLD9225, Visible Laser Diode Data Sheet, Toshiba Corporation

## Linear Temperature Tuning of a Semiconductor Laser for Optogalvanic Spectroscopy

Shih-Chung Lee    Chen-Ning Chu

(Institute of Optical Sciences, Central University, Chung-Li, Taiwan 320)

**Abstract** By changing the temperature of a semiconductor laser linearly and keeping the injection current constant, the frequency of a single mode laser can be continuously scanned up to 60 GHz. The spectrum of  $2S-2P$  resonance transition of lithium, recorded by the method, even some hyperfine structure was clearly resolved.

**Key words** optogalvanic spectroscopy, semiconductor laser, thermoelectric control