

16 μm 连续波 PbSnSe 半导体激光器的 调谐特性及其在高分辨率光谱中的应用*

王海龙 朱筱春 张位在 曹根娣 陈鹤明

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文报道了 16 μm 连续波 PbSnSe 二极管激光器的调谐特性。以该激光器作为红外光源, 测量了 CO_2 在 618 cm^{-1} 、634 cm^{-1} 、667 cm^{-1} , N_2O 在 618 cm^{-1} 、588 cm^{-1} 等频率附近的吸收光谱。这些结果表明, 激光器的模质量高, 单模调谐范围宽。

自从铅盐半导体可调谐二极管激光器 (TDL) 问世以来, 特别是 1970 年美国麻省理工学院林肯实验室 Hinkley^[1] 博士利用 TDL 发展了高分辨率红外光谱工作 (HRIS), 开拓了许多应用新领域, 引起了人们极大的兴趣。尤其是近年来随着激光分离同位素研究工作的发展, 采用 UF₆ 在 16 μm 波段的吸收带进行铀同位素分离, 已成为分子法激光分离同位素的重要组成部分。

本文报道了我们研制的 16 μm 波段范围 PbSnSe 二极管激光器的调谐特性以及在 HRIS 中的应用。

我们采用 HUVG 方法^[2] 选择 $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1+y}\text{Se}_{1-z}$ 中合适组份 x 值及其化学计量偏差 δ 值生长了 N-PbSnSe 单晶。其位错密度 $10^3 \sim 10^4/\text{cm}^2$, 载流子浓度 $N \sim 3 \times 10^{17} \sim 10^{18}/\text{cm}^3$ 。将晶块密封在石英管中, 在 450 $^\circ\text{C}$ 下经过一小时的自扩散获得 20 μm 左右的 P-N 结, 再选择合适的晶面作基准, 磨成 150~200 μm 厚的薄片。为了得到好的激光模式, 我们选取了 mesa-stripe (ms) 结构。图 1 为采用标准光刻工艺制成台面条形管芯, 最后将这种管芯安装在特制管座上。

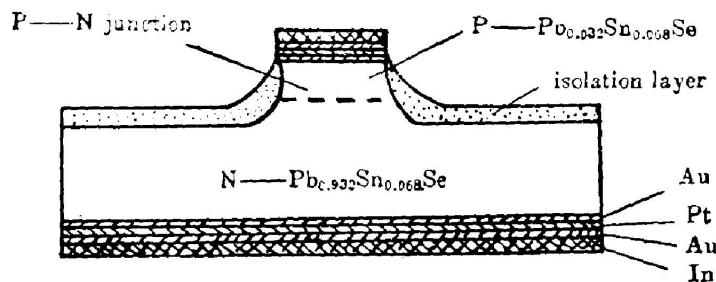


Fig. 1 Schematic diagram of a PbSnSe homojunction laser with stripe geometry

收稿日期: 1985年11月21日

* 本文曾在 1985 年中国光学学会年会上报告。

图 2 为激光强度与电流关系曲线, 给出了 12 K, 18 K, 24 K, 30 K, 36 K, 38 K, 42 K 下的阈值电流。从曲线的斜率可以看出在不同温度下外部量子效率是不同的。温度低时 (12 K, 18 K) 并不高, 而在 30~36 K 时最高, 温度再上升 (38 K, 42 K) 量子效率又降低了。这表明外部量子效率同温度的关系曲线中存在一个峰值。另外, 在 38 K 下曲线出现扭曲 (Kink), 这在光谱应用中是不利的, 使吸收曲线出现强度假的变化。因此, 在进行电流扫描时应该避开这个电流范围, 即选择曲线的线性范围。

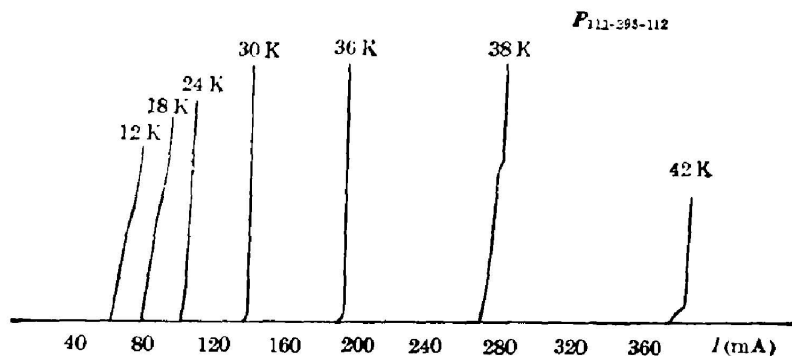


Fig. 2 Power-current characteristics of a typical PbSnSe diode laser at different temperatures

图 3 和图 4 为 PbSnSe 二极管激光器典型的温度调谐及电流调谐光谱。可以看到, 纵横清晰, 主模上无弱模, 这样的激光模式特别适用于电流扫描吸收光谱。从电流调谐光谱曲线可以算出在 340~640 mA 范围内, 平均电流调谐率约为 $0.1 \text{ cm}^{-1}/\text{mA}$, 从温度调谐光谱曲线可以得到温度调谐率约为 $3.5 \text{ cm}^{-1}/\text{K}$ 。这些数据表明, 这种激光器的调谐率是比较高

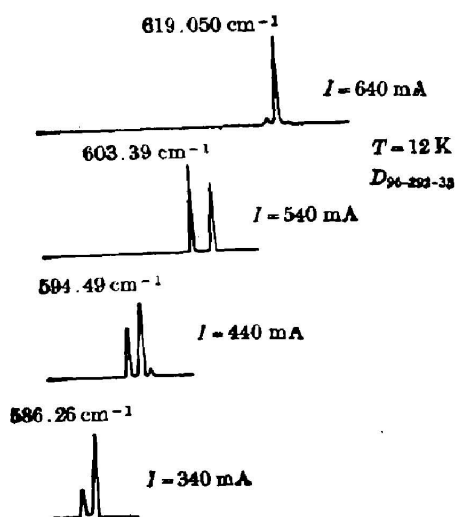


Fig. 3 Current-tuning spectra of a typical PbSnSe diode laser

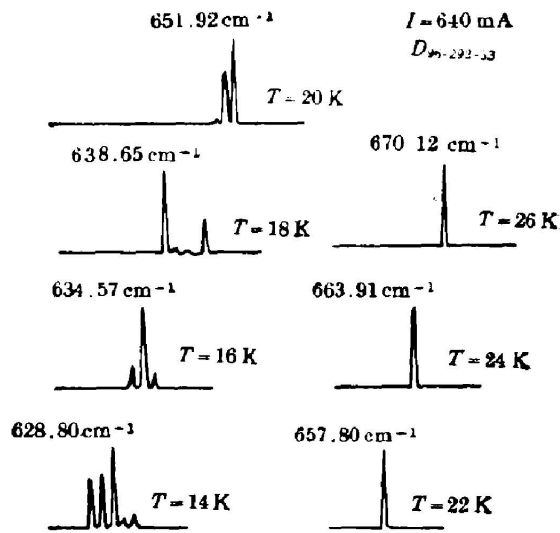


Fig. 4 Temperature-tuning spectra of a typical PbSnSe diode laser

的。因此,在电流扫描吸收光谱应用中,为了保证扫描的重复性,就要求有较高的温度稳定度及电流稳定度。我们的实验是在万分之三度温度,万分之一安培电流的稳定度下进行的。

一些典型的激光器特性列于表1。从中可看出激光器的最低阈值电流为64mA,最高工作温度为48K,最低工作频率为 522.56 cm^{-1} (相应最长工作波长为 $19.1\text{ }\mu\text{m}$),最高工作频率 727.43 cm^{-1} (相应最短工作波长为 $13.7\text{ }\mu\text{m}$),单个器件最宽调谐范围为 164.28 cm^{-1} 。

Table 1 Typical TDL characteristics

TDL	Threshold Current (mA)	Temperature Limit T_{max} (K)	Frequency Range (cm^{-1})	Tuning Range
$D_{111-113}$	64	42	560.08~689.72	129.64
$D_{119-117}$	164	40	529.57~684.37	154.80
D_{118-47}	137	37	531.60~665.50	133.90
$D_{119-128}$	260	35	553.58~713.79	160.21
$D_{119-230}$	260	42	533.17~657.91	124.74
$D_{119-235}$	160	42	541.38~705.66	164.28
$D_{119-270}$	126	42	541.88~661.63	119.80
D_{119-58}	160	43	522.56~651.30	128.74
$D_{119-112}$	293	32	539.90~654.90	115.00
$D_{127-263}$	321	33	560.69~650.48	89.79
D_{127-39}	232	35	546.94~625.61	81.67
$D_{127-250}$	130	46	544.04~694.56	154.52
$D_{127-112}$	240	36	547.45~651.91	110.46
D_{127-61}	280	34	554.32~689.72	135.40
D_{127-60}	128	35	546.33~653.37	113.00
$D_{127-549}$	160	37	547.02~684.03	137.01
$D_{136-234}$	325	36	579.96~682.35	102.39
$D_{141-261}$	220	34	578.99~694.65	85.76
$D_{141-246}$	220	36	578.00~676.45	95.45
$D_{147-210}$	260	41	565.34~697.13	131.79
$D_{147-296}$	150	41	560.76~709.28	148.52
$D_{147-249}$	170	48	562.73~727.48	163.70

利用我们的二极管激光器测量了 CO_2 在 618 cm^{-1} 、 623 cm^{-1} 、 634 cm^{-1} 、 667 cm^{-1} , N_2O 在 588 cm^{-1} 、 618 cm^{-1} 频率附近的吸收光谱。

图5为测试 CO_2 吸收谱的装置方框图。

图6~9为二极管激光诸频率处 CO_2 的吸收线。吸收室长为 10 cm , CO_2 气体压力为 $\sim 1\text{ Torr}$ 。

N_2O 的吸收谱是在中国科学院大连化学物理研究所的Spectra-Physics LS-3二极管激光光谱仪上作的^[3]。图10、11给出了 N_2O 在 588 cm^{-1} 、 618 cm^{-1} 频率附近的吸收线。以上给出的结果只表明我们激光器的调谐性能。可以看到,激光器的横模稳定,纵模质量良好,单模调谐范围大,最长可达 3 cm^{-1} (只是电流调谐)。至于这些吸收光谱的详细研究,应是光谱专家们的事。

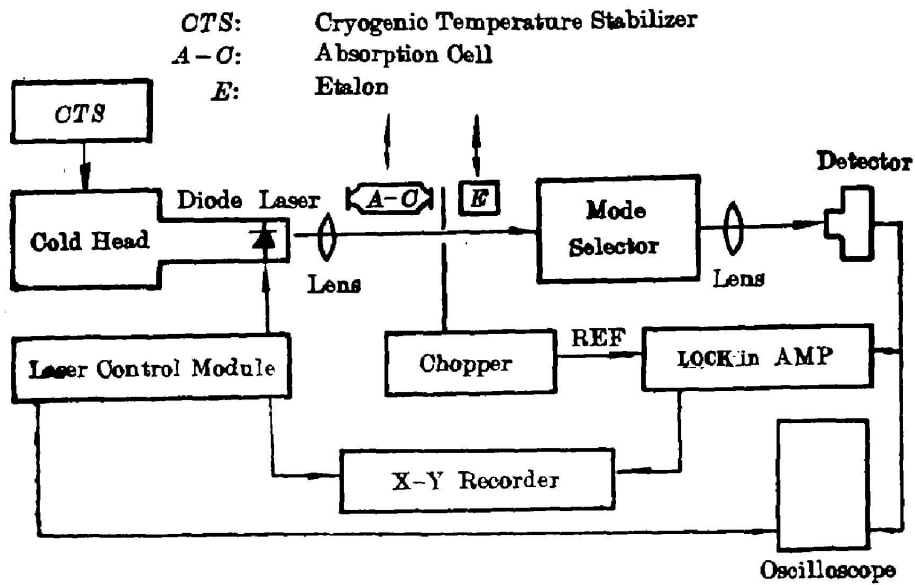


Fig. 5 Schematic diagram of a high-resolution spectrometer using a diode laser

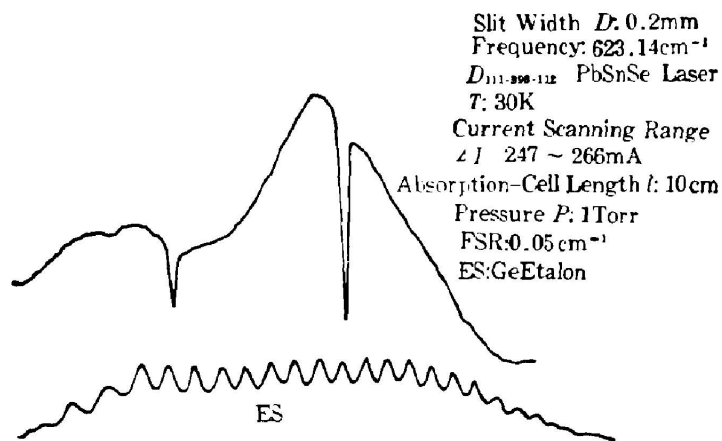


Fig. 6 Diode laser scanning of CO_2 absorption lines near 623 cm^{-1}

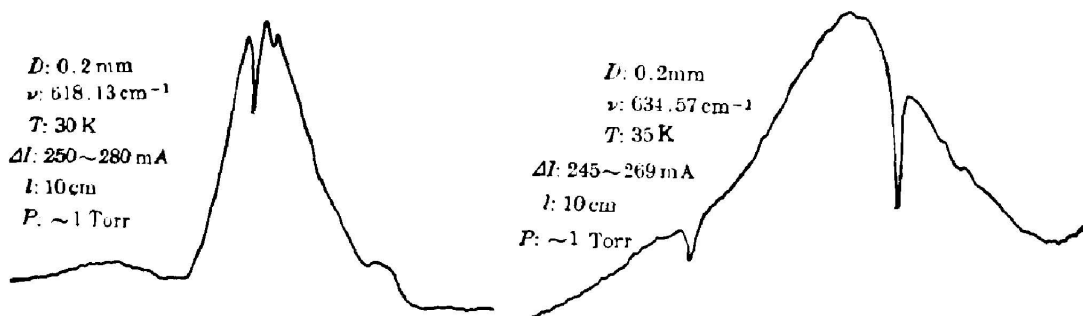


Fig. 7 Diode laser scanning of CO_2 absorption lines near 618 cm^{-1}

Fig. 8 Diode laser scanning of CO_2 absorption lines near 634 cm^{-1}

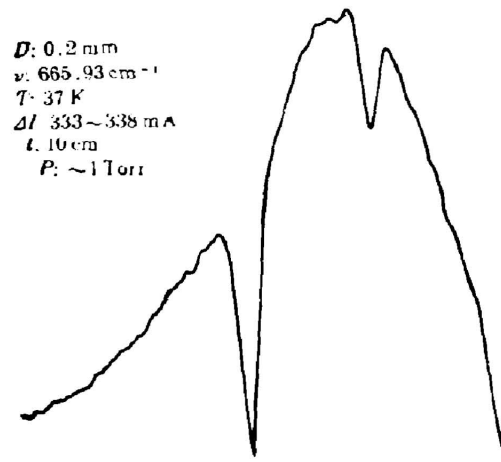


Fig. 9 Diode laser scanning of CO_2 absorption lines near 666 cm^{-1}

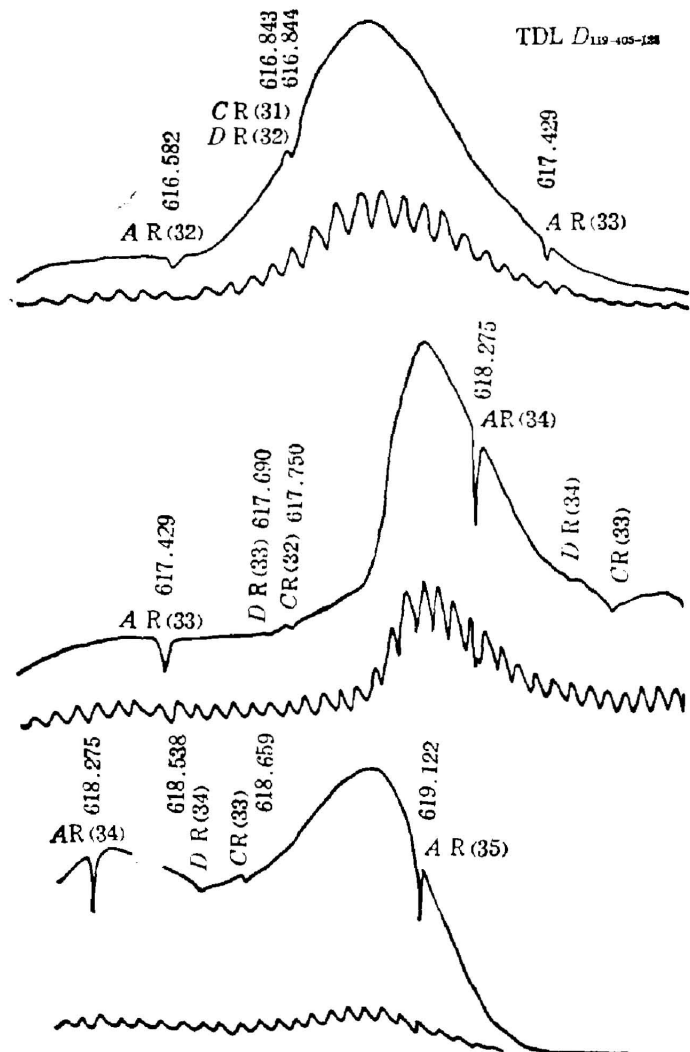


Fig. 10 High-resolution diode-laser spectra of N_2O (ν_2) R-branch ($\text{FSR} \approx 0.0495 \text{ cm}^{-1}$)

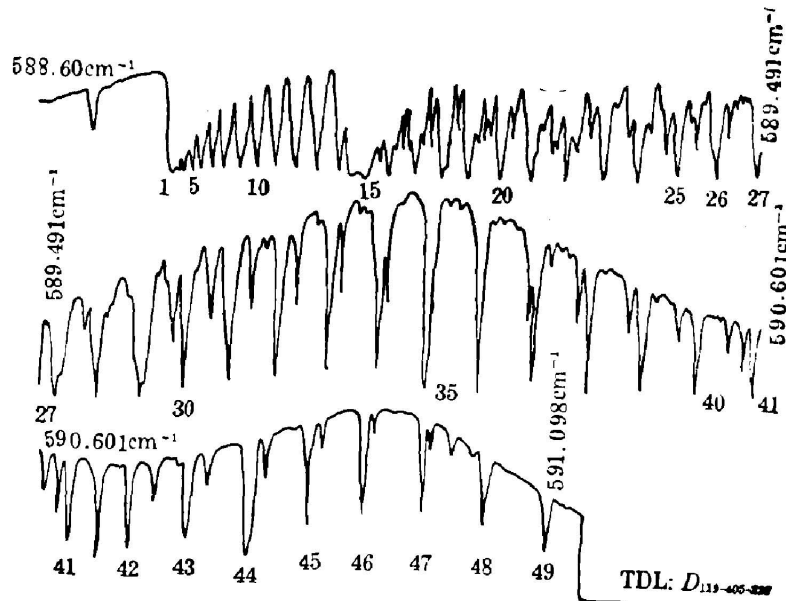


Fig. 11 High-resolution diode-laser spectra of N_2O (ν_2) Q-branch

本文的 N_2O 吸收谱的测试、分析及识别工作是中国科学院大连化学物理研究所沈之桦等同志提供的,本工作一直得到张存浩同志的支持与鼓励,作者在此对他们的支持和帮助表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] E. D. Hinkley; *Appl. Phys. Lett.*, 1970, **16**, No. 9 (Oct), 351.
- [2] 朱筱春等;《中国激光》, 1985, **10**, No. 1 (Jan), 43.
- [3] R. S. Eng, J. F. Butler; *Opt. Eng.*, 1980, **16**, No. 6 (Nov-Dec), 945.

16 μm CW PbSnSe semiconductor tunable lasers and their uses in high-resolution spectroscopy

WANG HAILONG, ZHU XIAOCHUN, ZHANG WEIZAI, CAO GENDI AND CHEN HEMING
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 21 November 1985)

Abstract

We report the tuning characteristics of 16 μm CW PbSnSe diode lasers. We have measured CO_2 absorption spectra near 618cm^{-1} , 623cm^{-1} , 634cm^{-1} and 667cm^{-1} as well as N_2O absorption spectra near 618cm^{-1} and 588cm^{-1} . These results show that the mode quality of these lasers is high and the single-mode tuning range is wide.