

## Lecture 22 - 激光二极管 - 3 ; 探测器 - 1 - 概论

- **调制激光二极管** ( Lecture 21最后的主题)

  - 小信号调制

  - 阶跃变化响应

- **光信号转换为电信号** (探测器)

  - 一般问题

    - 性能目标和衡量

  - 光探测方法

    - 光电导和光电二极管

    - 有增益探测器和无增益探测器

    - 集成和监视传感探测器 ; 光感电容

- **光电导**

  - 大块光电导体

    - 增益机制

    - 增益 - 速度 的平衡

## QWIP 和 QDIP

结构，概念，设计优化

提高灵敏度的方法

多颜色设计

C. G. Fonstad, 5/03

Lecture 22 - Slide 1

Laser diodes:激光二极管：激活层的变量

量子瀑布激光器：

一种新型化合物材料，能在 $10\ \mu\text{m}$ 激射。

(图删除)

见 K. Ohtani and H. Ohno, "InAs/AlSb quantum cascade lasers operating at  $10\ \mu\text{m}$ ," Appl. Phys. Lett. 82 (2003) 1003-5.

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 2

## 激光二极管：激活层设计（续）

### 波导垂直方向成型：

平板耦合光波导激光器，SCOWL，是一种垂直设计，可以增加波导垂直方向的厚度，获得更对称的光束能量分布。

(图删除)

见 J.N. Walpole et al, "Slab-Coupled 1.3 um Semiconductor Laser with Single-Spatial Large-Diameter Mode," IEEE Photonics Tech. Lett. 14 (2002) 756-8.

C. G. Fonstad, 4/03 Lecture 22 - Slide 3

## 激光二极管：激活层设计（续）

### 波导垂直方向成型：

防止反射谐振光波导，

ARROR,是一种常用垂直设计，  
可以增加波导垂直方向的厚度，  
获得更对称的光束能量分布。

(图删除)

See Fig. 7.22 in Coldren, L. A., and S. W. Corzine. *Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits*. New York: Wiley Interscience, 1995.

波导操作

高阶模得到抑止，激活  
(增益)层可以和某个  
低折射率层合并在一起

(图删除)

See A. Bhattacharya et al, "High power narrow beam singlemode ARROW-type InGaAs/InGaAsP/InGaP diode lasers," Elect. Lett. 31 (1995) 1837-1838.

示例结构

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 4

## 激光二极管：增益层设计（续）

波导竖直方向成型：

另外，ARROW激光器的结果  
显示了实际使用的增强波导  
和改进的激光光束能量分布。

层结构

(图删除)

见 A. Bhattacharya et al, "High power narrow beam singlemode ARROW-type InGaAs/InGaAsP/InGaP diode lasers," Elect. Lett. 31 (1995) 1837-1838.

激光二极管：水平设计（续）  
分布式反馈（续）：

数据取自铅盐激光器，对比了  
Fabry-Perot腔和DFB激光  
二极管的温度可调特性。

(图删除)

See J.N. Walpole et al, "Distributed feedback PbSnTe  
double-hetero-structure lasers," Appl. Phys. Lett. 29 (1976) 397-9.

器件结构

温度可调曲线

(图删除)

See J.N. Walpole et al, "CW Operation of Distributed Feedback  
PbSnTe lasers," Appl. Phys. Lett. 30 (1977) 524-6.

## 激光二极管：水平设计（续）

### 分布式反馈（续）：

数据取自铅盐激光器，对比了  
Fabry-Perot腔和DFB激光  
二极管的温度可调特性。

辐射光谱随温度的变化

器件结构

(图删除)

见 "Liquid-phase epitaxy grown PbSnTe distributed feedback lasers with broad continuous single-mode tuning range," IEEE J. Quant. Elect. QE-16 (1980) 1039-43.

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 7

## 激光二极管：表面发射激光器

### 光栅表面耦合发射激光器，GCSEL

图片来自一分析GCSEL的论文。

在这个器件里面，二阶光栅

提供反馈构成激光腔，并且  
提供与表面垂直的激光  
输出耦合。

器件横截面

器件结构

(图删除)

见 S. Bonnefont et al, "Analysis of the sensitivity of grating-coupled surface-emitting lasers to geometrical parameter variations," IEEE J. Quant. Elect. 32 (1996) 1469-1477.

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 8

## 激光二极管：表面发射激光器

### GCSEL (续)

例子中，将二阶光栅输出元件与一阶光栅DBR腔结合，使得光从器件上表面发出。注意二阶器件略微失调，所以发出光也不是垂直方向，而是有个很小的角度。

器件结构

输出光栅的工作

(图删除)

见 N. Eriksson et al, "Highly directional grating outcouplers with tailorable radiation characteristics," IEEE J. Quant. Elect. 32 (1996) 1038-47.

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 9

## 激光二极管：表面发射激光器（续）

### GCSEL（续）

例子中，将二全息光栅输出元件与一阶光栅DBR腔结合，使得器件上表面发出会聚光。在这个插图中，输出光会聚于一点，不过可能会有更复杂的光斑模（见下一页）。

(图删除)

见 N. Eriksson et al, "Surface-emitting unstable-resonator lasers with integrated diffractive beam-forming elements," IEEE Phot. Tech. Lett. 9 (1997) 1570-2.

器件结构

全息光栅的光学会聚

## 激光二极管：表面发射激光器（续）

### GCSEL（续）

在这两个例子中，将二全息光栅输出元件与一阶光栅DBR腔结合，使得激光器发出会聚光。

(图删除)

见 N. Eriksson et al, "Surface-emitting unstable-resonator lasers with integrated diffractive beam-forming elements," IEEE Phot. Tech. Lett. 9 (1997) 1570-2.

会聚于一点的输出光远场图像

会聚于一排点的输出光远场图像

## 激光二极管：VCSEL（续）

VCSEL 结构：

示例为一个长波长(1.55  $\mu\text{m}$ ) VCSEL，上表面反射镜由多层电介质沉积而成，与GaAs/AlGaAs DBR 制作的下表面反射镜连接在一起。

(图删除)

见 Y. Ohiso et al, "Single Transverse Mode Operation of 1.55  $\mu\text{m}$  Buried Heterostructure Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers," IEEE Phot. Tech. Lett. 14 (2002) 738-40.

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 12

## 激光二极管：VCSEL（续）

### VCSEL 结构：

这个VCSEL的例子中，上表面用重叠的电介质沉积而成，而下面的GaAs/AlGaAs DBR 不掺杂。注意，上下表面的接触非常接近增益层，电流通不过任何一个反射镜堆。

(图删除)

见 L.M.F. Chirovsky et al, "Impant-apertured and index-guided vertical-cavity surface-emitting lasers," IEEE Phot. Tech. Lett. 11 (1999) 500-2.

器件结构

器件的显微照片

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 13

## 激光二极管：频率响应

### 小信号正弦调制

系统的二阶特性来源于系统的耦合性质。

(图删除)

见 Figures 15-19(a) and (b) in Yariv, *Optical Electronics*.

连续光输出和电流

不同偏置水平的小信号调制特性（在曲线左侧指出）

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 14

## 激光二极管：频率响应

### 大信号（阶跃）响应

大信号阶跃响应显示了其主要性质：开机延时和输出震荡。

(图删除)

见 Figs. 5.12 and 5.13 in Coldren, L.A and Corzine, S. W., Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits  
New York: Wiley Interscience, 1995.

模拟阶跃信号输入时，平面激光器（左）和VCSEL（右）中，  
电流、载流子和光子集居数的瞬态情况。

C. G. Fonstad, 4/03

Lecture 22 - Slide 15

## 半导体光电探测器 - 体积带间吸收器件

- 几种直接和间接带隙半导体的吸收边的比较  
注意吸收边的陡峭程度，和刚过带边缘的吸收强度差别。

C. G. Fonstad, 6/02

Lecture 22 - Slide 16

光电二极管 – 基于GaN的日盲p-i-n 探测器（注：日盲探测器仅对波长短于280nm

的光有响应，大气层的臭氧过滤了UV<280nm）

左边：用于日盲p-i-n光电  
二极管的层结构

(图删除)

见 Fig. 1 in Ting Li et al, "Low-Noise Back-Illuminated  
Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N-Based p-i-n Solar-Blind Ultraviolet Photodetectors,"

IEEE J. WQuant. Electron. 37 (2001) 538.

右边：具有上图结构的基于GaN的  
日盲p-i-n光电二极管的  
光谱响应

(图删除)

见 Fig. 5 in Ting Li et al, "Low-Noise Back-Illuminated  
Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N-Based p-i-n Solar-Blind Ultraviolet Photodetectors,"  
IEEE J. WQuant. Electron. 37 (2001) 538.

C. G. Fonstad, 6/02

Lecture 22 - Slide 19