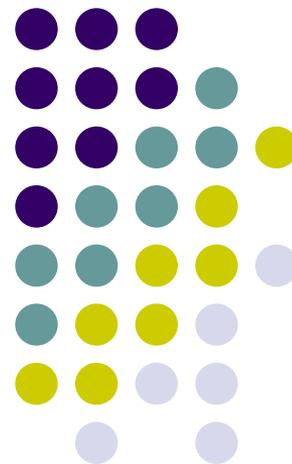




# 5G发展对光传输核心器件和 光模块研发的挑战

刘文  
2020年4月21日





# 目录

- **5G 时代已经来临**
- **5G 网络基本架构**
- **支持5G 网络的光器件和模块技术**
- **一个降低5G光模块成本的解决方案**
- **提升5G光器件与模块竞争力的核心技术研发**

5G





# 5G应用场景



**无人驾驶**



**VR/AR**



**智慧城市**



**工业自动化**



# 交通应用场景对5G网络传输速率提出了更高的要求





# 5G网络建设规模大、时间长

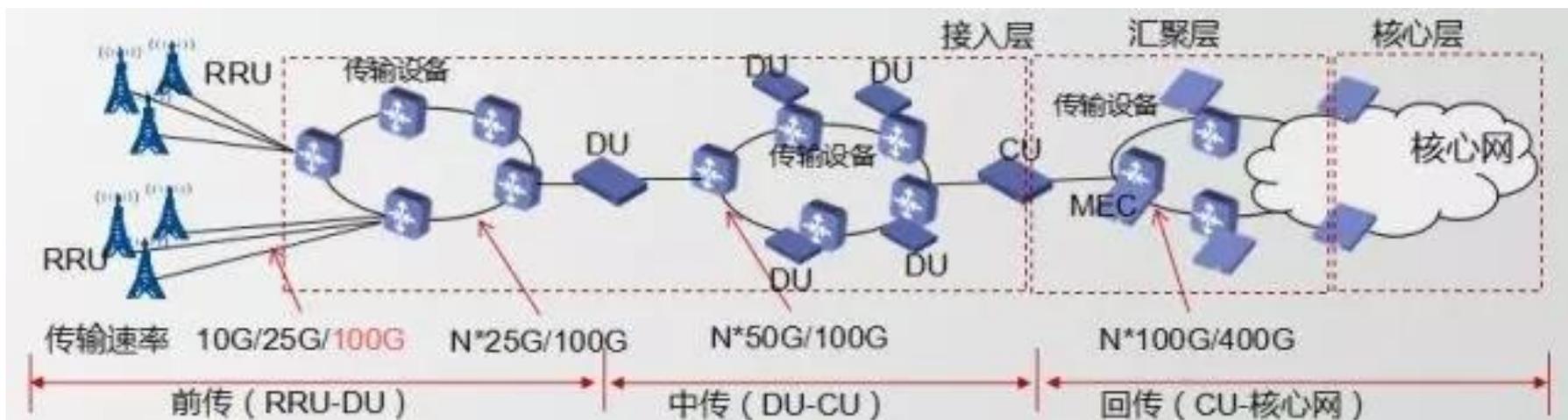


5G发展已进入商用关键期，已经有韩国、美国、芬兰、英国等国家12个运营商开始商用，其中韩国宏站规模年底将达8万。预计2020年全球进入5G规模商用阶段。

我国5G建设将进入实质阶段，2019已经在40多座城市，共建设8—10万个5G宏站；2020年规模商用将有数百座城市建设60—80万个宏站；2021—2027年将有数百万量级的宏站和千万级小基站部署。



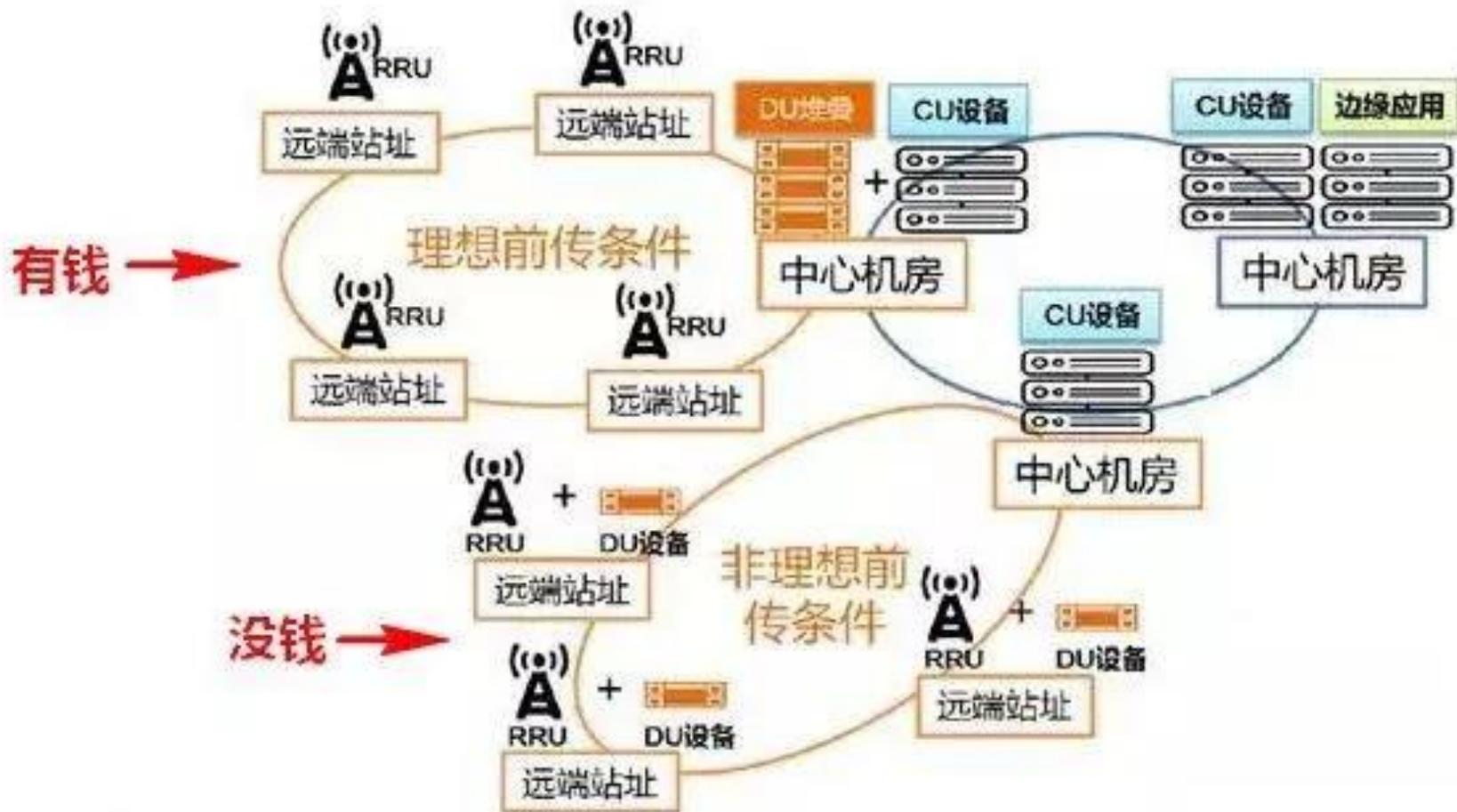
# 5G网络中光传输容量与速率



接入层 (RRU-DU)		中传 (DU-CU)		回传 (CU-核心网)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•eCPRI接口/CPRI接口</li> <li>•点到点, 100m-100km</li> <li>•时延~100us</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•点到点/点到多点, 100km-800km</li> <li>•时延&lt;1ms</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•多点到多点</li> <li>•&lt;200km</li> <li>•时延&lt;10ms</li> </ul>	
<b>RRU接口速率</b>	<b>前传容量</b>	<b>中传速率</b>	<b>中传容量</b>	<b>回传速率</b>	<b>回传容量</b>
10G/ 25G/100G	>1.5T (25G*60)	50G/100G	8*100G~ 8*200G	50G/100G	~2T~4T

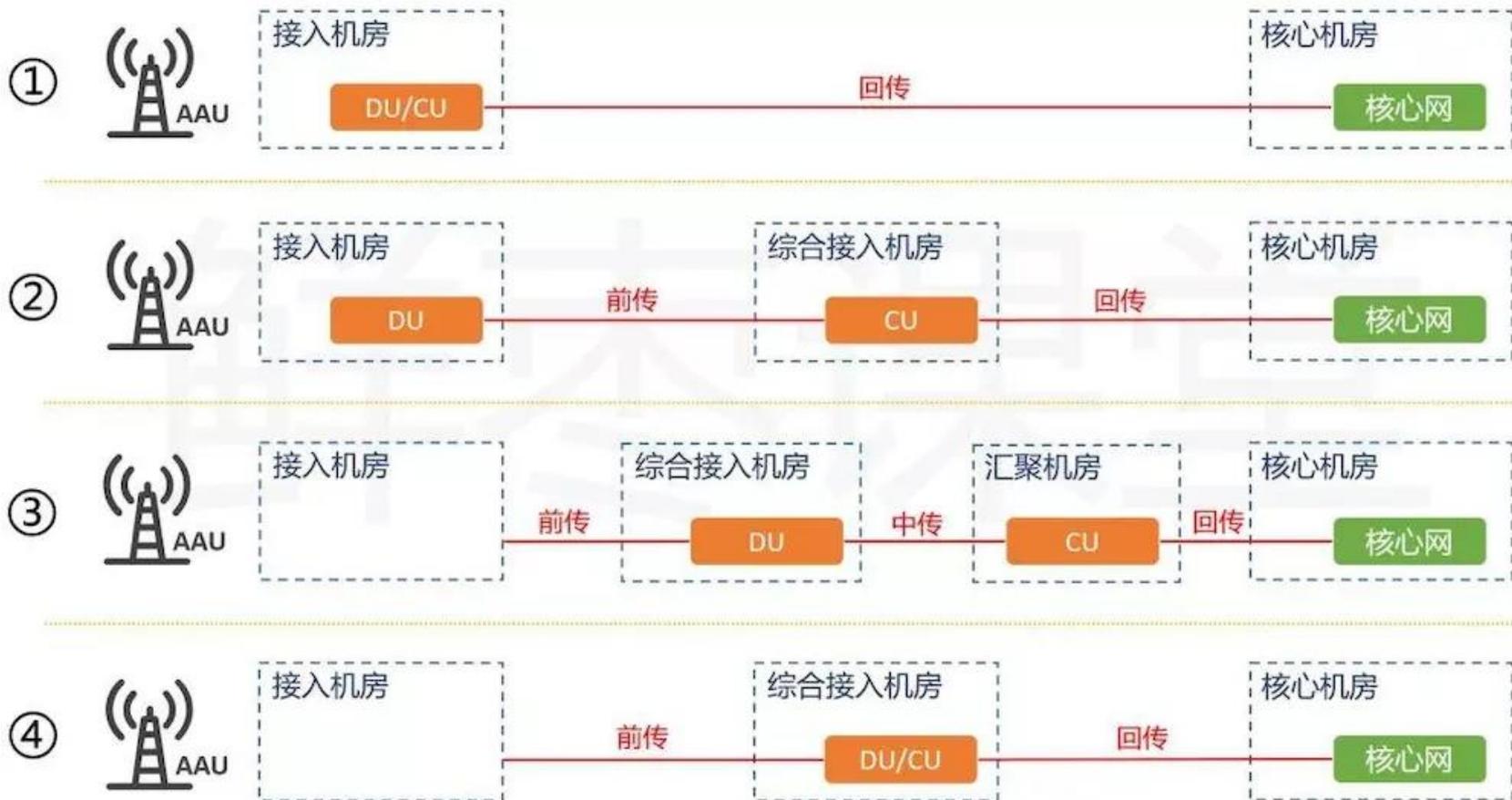


# 5G网络中光传输低成本/低成本方案





# 5G网络中光纤与光模块用量大增



5G时代光模块方面，高速光模块将迎来巨大机遇，韦乐平预计5G会带来数千万量级25G / 40G / 100G光模块用量，数据中心也给光模块带来更大的发展空间。



# 光模块提升速率的方案：PAM4调制

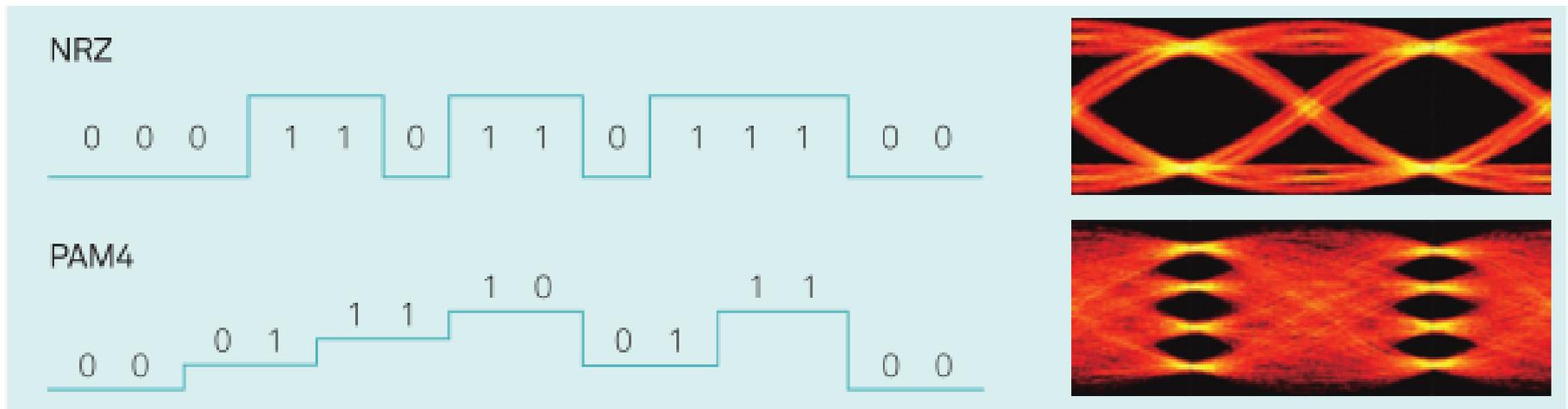
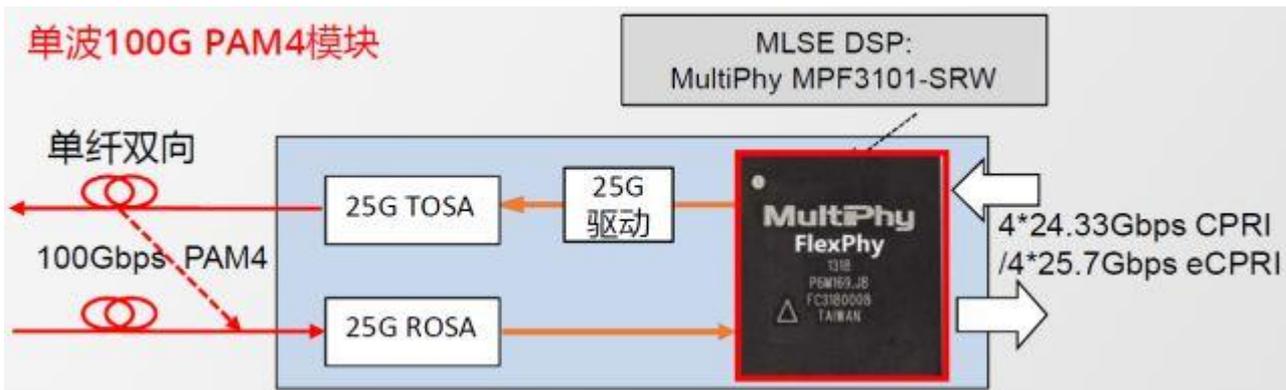


Figure 1-1 PAM4信号波形和眼图对比

PAM4信号采用4个不同的信号电平进行信号传输，每个时钟周期可以传输2bit的逻辑信息，即00、01、10、11。因此，在同样波特率条件下，PAM4信号比特速率是NRZ信号的2倍，传输效率提高一倍。PAM4属于高阶调制技术的一种，是利用电领域技术加速光技术发展的一个有效方法。



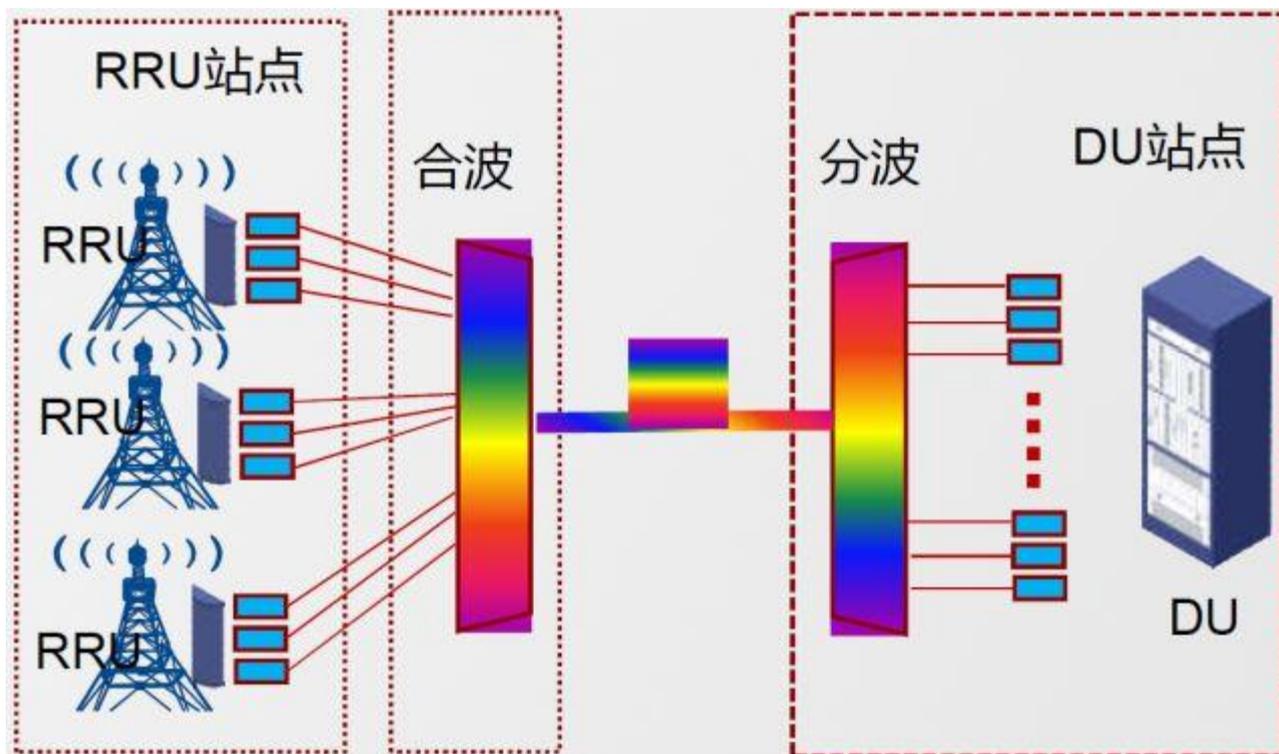
# 采用PAM4的5G前传光模块解决方案



规格	55GB PAM4+MLSE DSP
波长	O波段
MLSE DSP芯片	16nm CMOS, 低功耗:<1.8W(包含内置FEC)
TOSA/ROSA	25G TOSA, 25G ROSA
芯片时延	Tx+Rx <1us (~800ns)
模块封装及功耗	QSFP28, <3.5W
优点	基于25G成熟器件, 可以实现单纤, 单波100G, 10km传输, 支持工业温度



# 光纤资源匮乏5G前传方案：波分复用

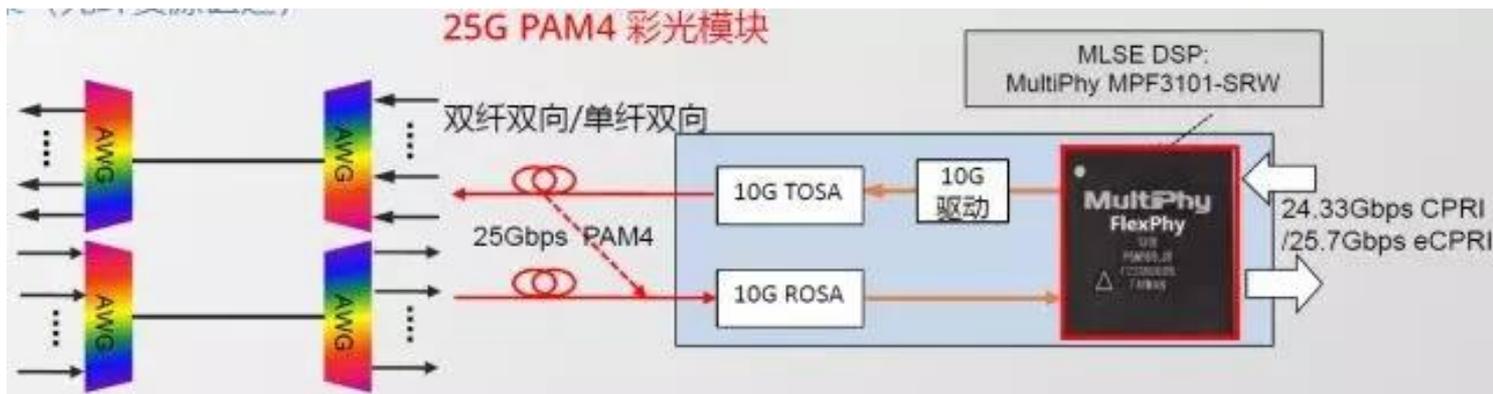


传统的无线光传输主要基于双纤双向点对点光模块传输，基于WDM的传输仍然研发阶段。

接口类型	接口速率	传输距离	需求模块类型
CPRI	10G	10km/20km(G.Metro)	10G-SFP+@1550nm
	25G		25G-SFP28@1550nm
	50G		50G-QSFP28@1550nm
eCPRI	25G	10km/20km(G.Metro)	25G-SFP28@1550nm
	50G		50G-QSFP28@1550nm
	100G		100G-QSFP28@1550nm



# 采用PAM4与波分复用的5G前传光模块解决方案

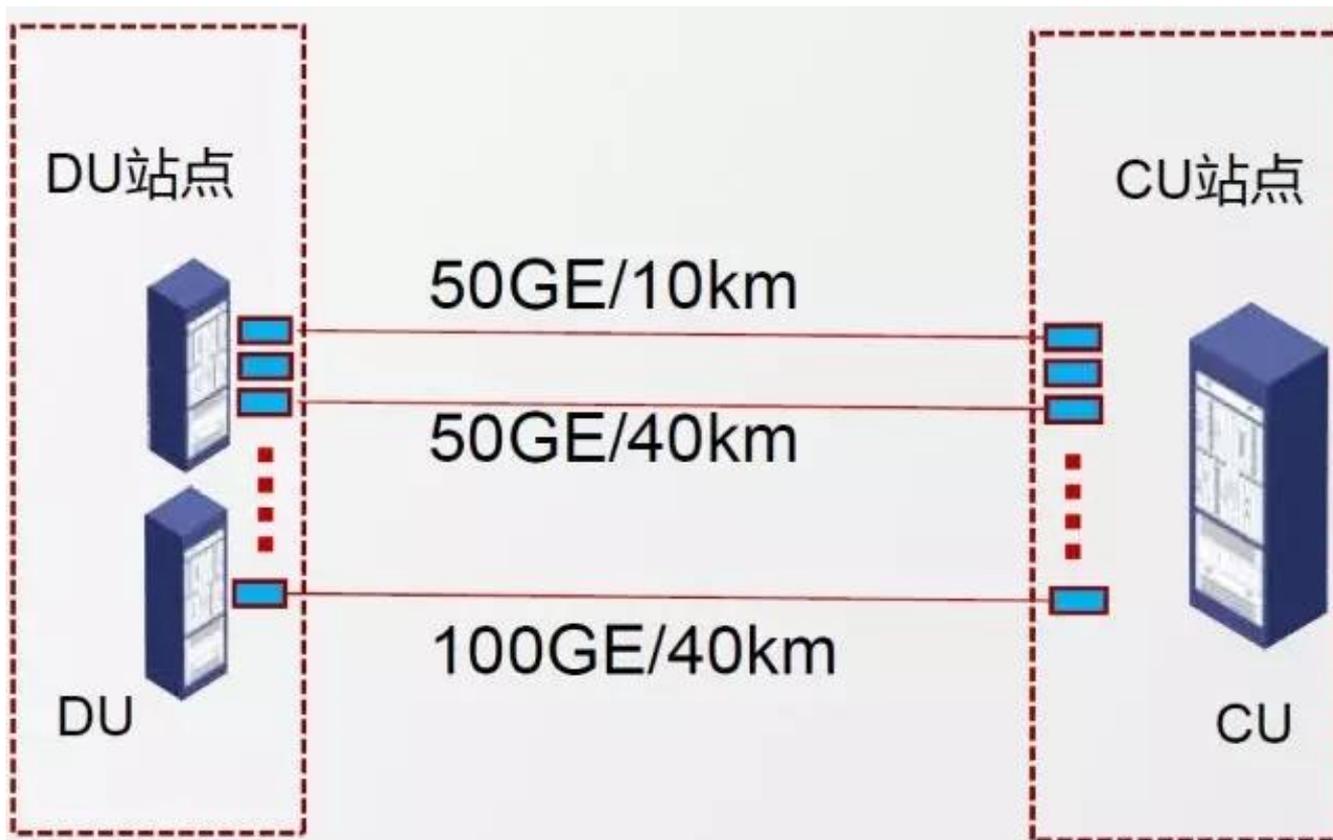


25G PAM4 彩光模块

规格	14GB PAM4+MLSE DSP
主要技术	14GB PAM4+MLSE DSP
波长	C波段, DWDM波长
MLSE DSP芯片	16nm CMOS, 低功耗:~0.8W(包含内置FEC)
TOSA/ROSA	10G TOSA, 10G ROSA
模块封装及功耗	SFP28, <1.5W
优点	基于10G成熟器件, 可以实现单纤双向, 单波25G, 20km传输(G.Metro), 无需色散补充和光放, 支持工业温度



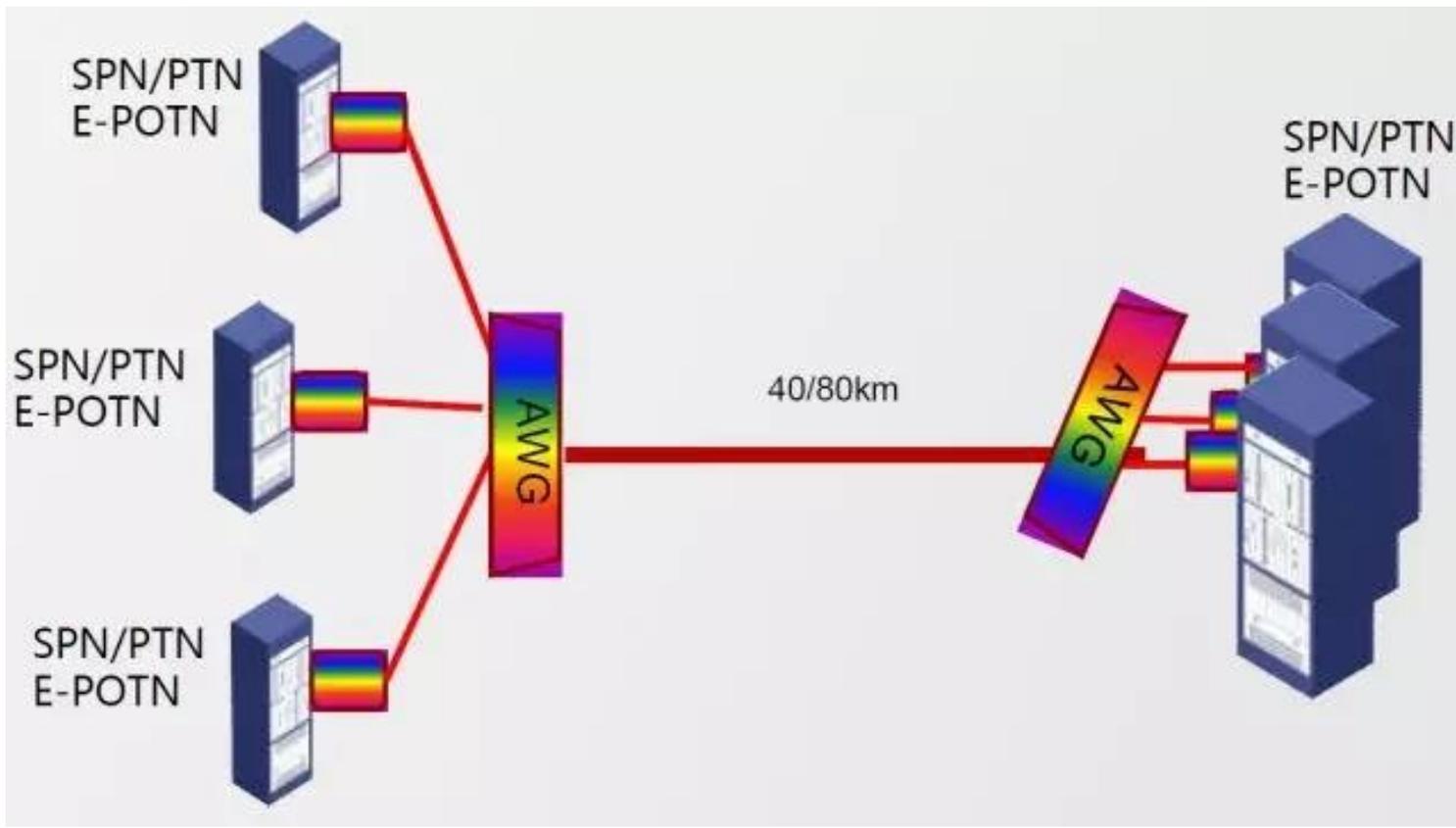
# 5G中/回传灰光方案



接口类型	接口速率	传输距离	需求模块类型
Ethernet	50GE 100GE	10km/40km	50G-QSFP28@1310nm 100G-QSFP28@1310nm



# 5G中/回传波分复用方案(40km/80km)

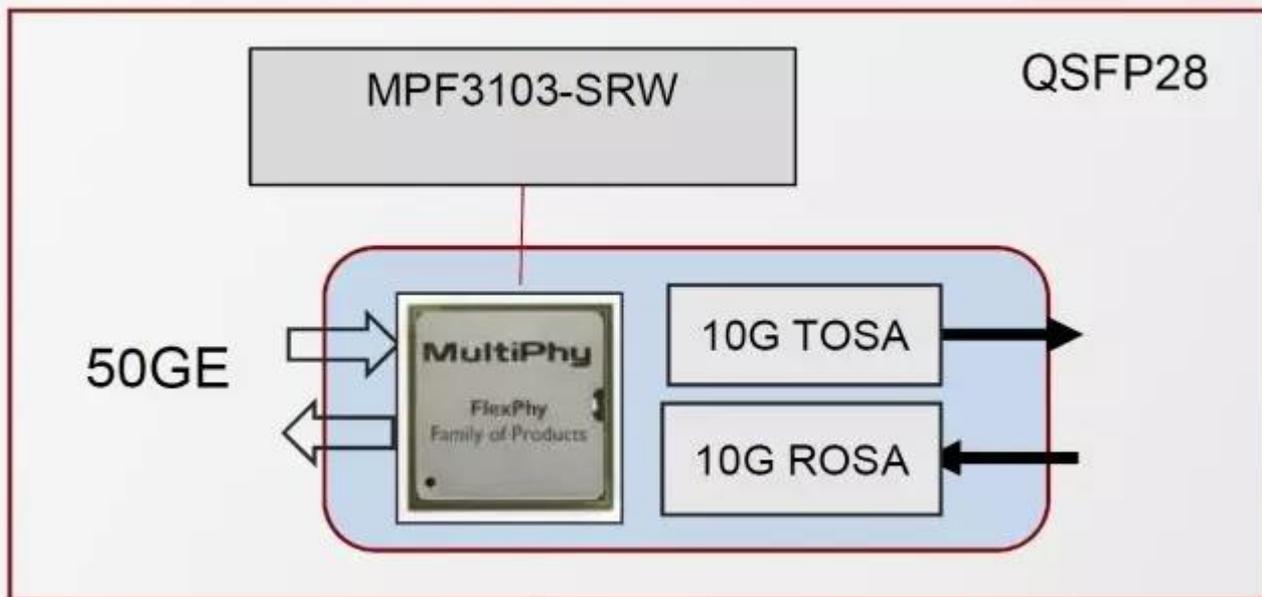


接口设备	接口速率	传输距离	需求模块类型
SPN/E-POTN	50G 100G 400G	40km/80km	50G-QSFP28@1550nm 100G-QSFP28@1550nm 100G-CFP4@1550nm 400G-QSFPDD@1550nm



# 5G中/回传：采用PAM4与灰光方案(10/40km)

## 单波50G 10km PAM4模块

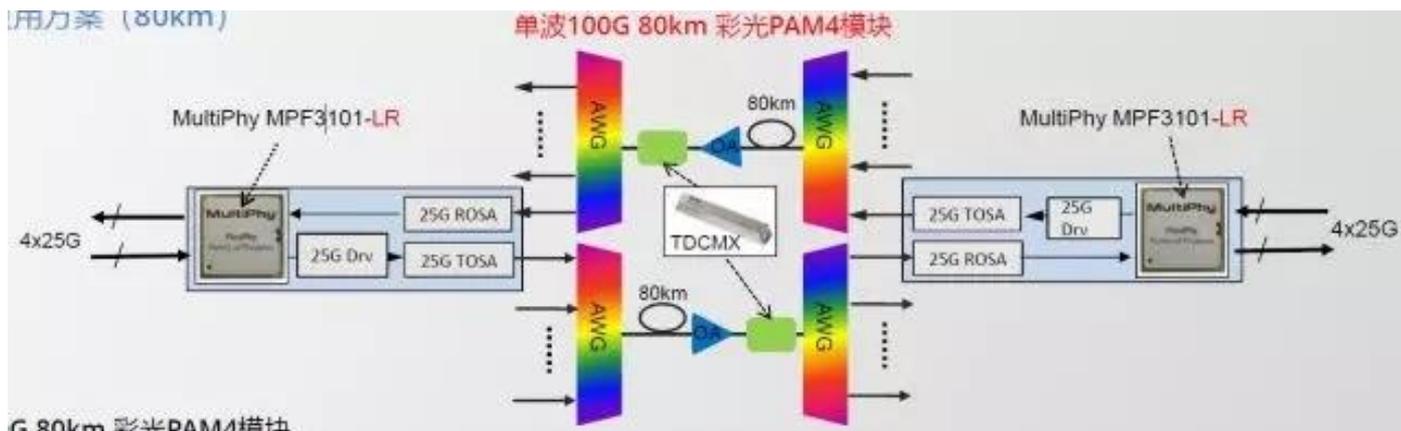


单波50G 10km PAM4模块

规格	25GB (单波50Gbps) PAM4+MLSE DSP
波长	O波段
MLSE DSP芯片	16nm CMOS, 低功耗:<1.8W(包含内置FEC)
TOSA/ROSA	10G TOSA, 10G ROSA
模块封装及功耗	QSFP28, <3.5W
优点	基于10G带宽超低成本器件, 可以实现BIDI, 单波50G, 10km传输



# 5G中传：采用PAM4与波分复用方案(80km)



单波100G 80km 彩光PAM4模块

规格	50GB (单波100Gbps) PAM4+MLSE DSP
波长	C波段
MLSE DSP芯片	16nm CMOS, 低功耗:<1.8W(包含内置FEC)
TOSA/ROSA	25G TOSA, 25G ROSA
模块封装及功耗	QSFP28, <3.5W
优点	配合可调色散补偿, 适用于DWDM, 支持点到点单波100G, 1550nm, 80km大容量传输 (一组25G器件, 低成本)



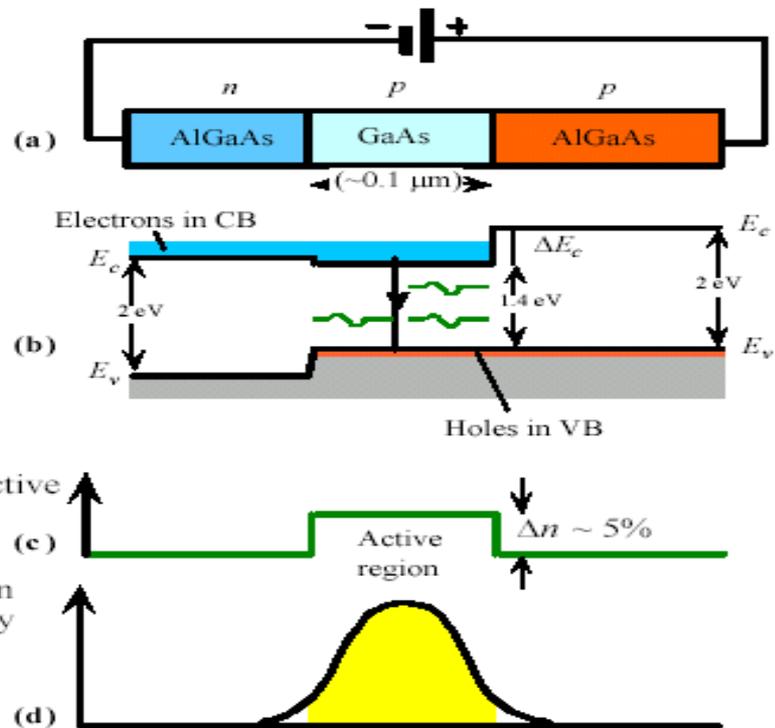
# 有待国有化的核心光芯片

1. 25G 宽温DFB激光器芯片主要供应商为三菱、奥兰若、Macom等日美厂商，2014年，Macom公司推出四个波长的25Gbps DFB激光器，可在0到70摄氏度工作范围工作。2016年Oclaro公司宣布其针对100Gbit/s收发器应用的非密封性25Gbit/s  $1.3 \mu\text{m}$  DFB激光器二极管成功完成质量认证。国内比较领先的海信宽带2018年已完成4波段25G DFB样品开发，为未来100G/400G光模块应用奠定良好的基础；
2. 25G EML芯片供应商为三菱、住友等日本厂商，国内比较领先的企业为海信宽带，目前正在进行25G EML样品的研发，多路EML阵列目前在产业界还是空白，没有产品，仅有少数科研机构如NTT、NEC等有相关的研究。
3. 可调25G发射芯片，可调激光器和低速（10G）的可调发射芯片主要在欧美企业如Lumentum、奥兰若、Finisar等，国内目前基本属于空白，25G可调发射芯片目前尚无产品出现，国外部分高校和研究所如美国加州大学等有过相关研究。
4. 无热AWG产品，光迅公司/丹麦分公司



# 半导体异质结

- 异质结的作用：
- 异质结对载流子的限制作用
- 异质结对光场的限制作用
- 异质结的高注入比





# 阿尔费罗夫：半导体异质结理论和应用的创始人

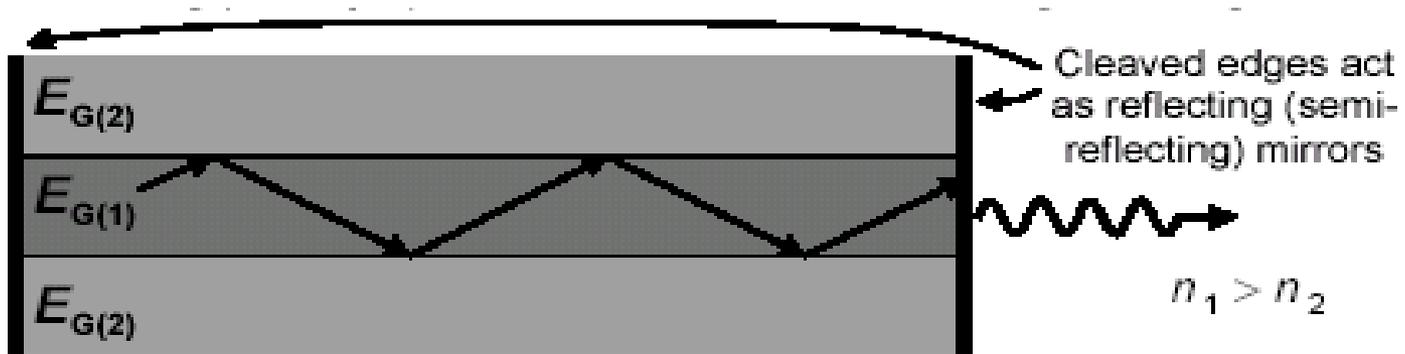


阿尔费罗夫院士是异质结构物理学的创立者。他于1970年在世界上首先实现了半导体激光器的室温连续运转，拉开了 [光纤通信](#) 大发展的序幕，奠定了因特网以及当代电子和光电子技术，特别是相关信息及能源技术的基础。同时，他还是低维（纳）异质结构研究的倡导者和领军人物。

若列斯·伊万诺维奇·阿尔费罗夫，俄罗斯籍，男，1930年3月生。半导体物理学家，俄罗斯科学院院士，从1990年至今先后担任前苏联科学院副院长、俄罗斯科学院副院长。享有中国科学院外籍院士、美国科学院及美国工程院外籍院士等许多国家的院士称号，荣获2000年度诺贝尔物理学奖。



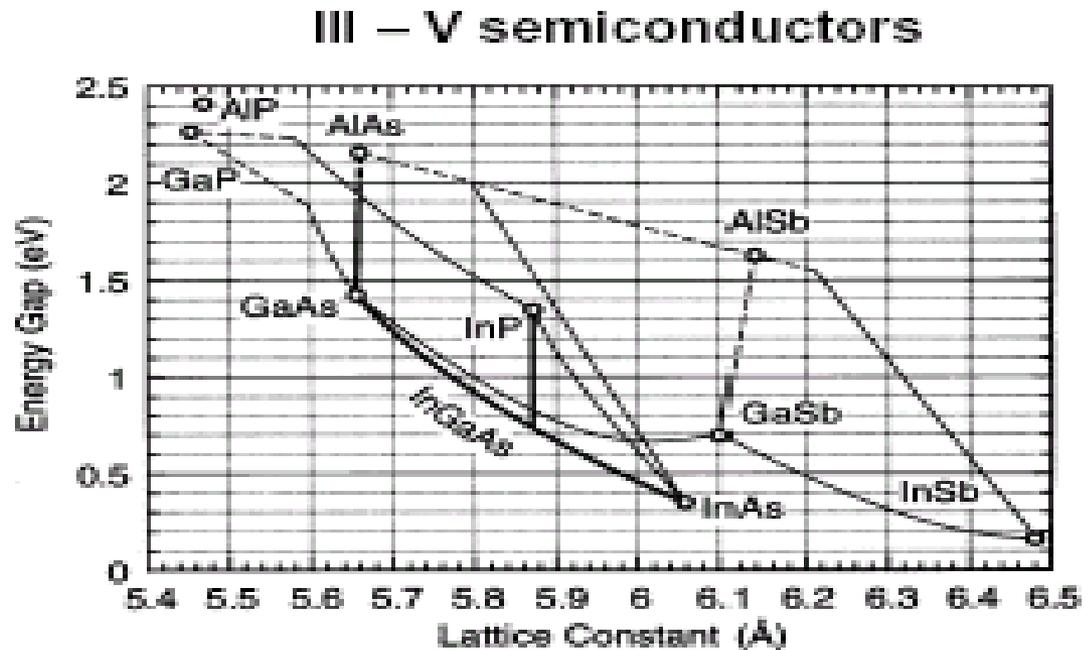
# 异质结对光场的限制作用





# 半导体激光器的材料选择

- 1-能在所需的波长发光
- 2-晶格常数与衬底匹配

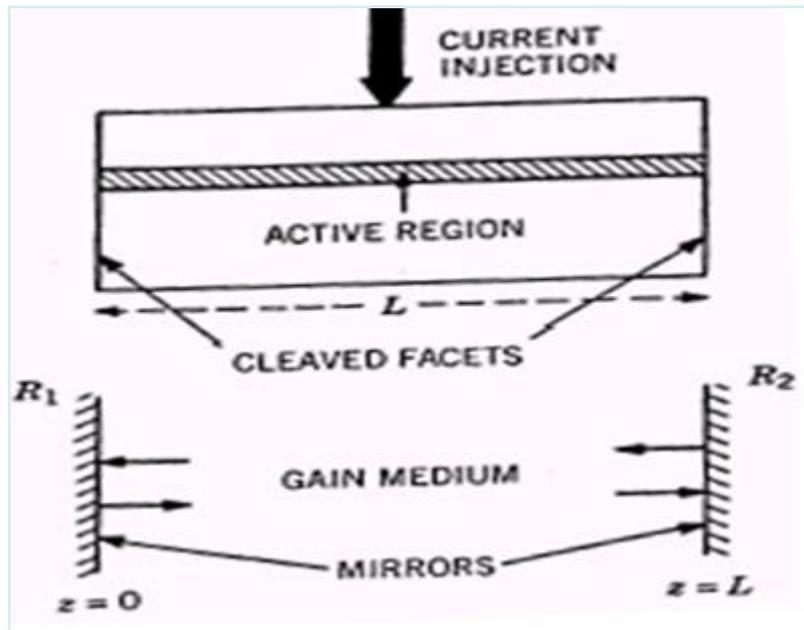




# 半导体激光器的工作原理

基本条件:

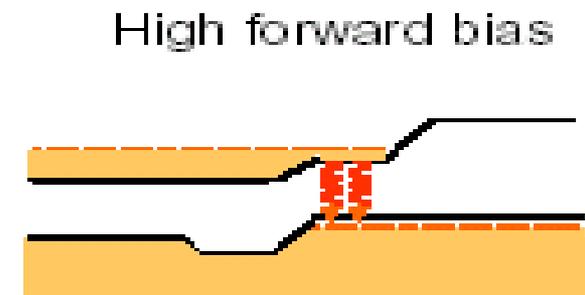
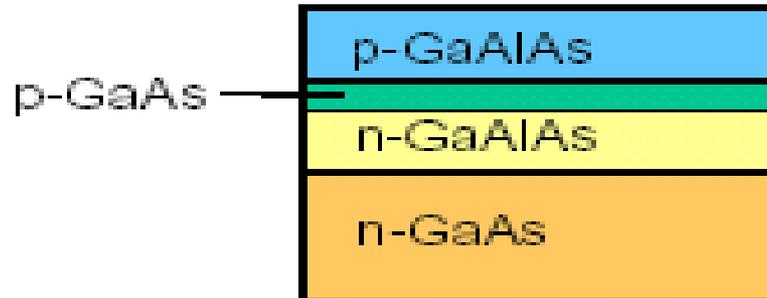
- 1有源区载流子反转分布
- 2谐振腔: 使受激辐射多次反馈, 形成振荡
- 3满足阈值条件, 使增益 $>$ 损耗, 有足够的注入电流。





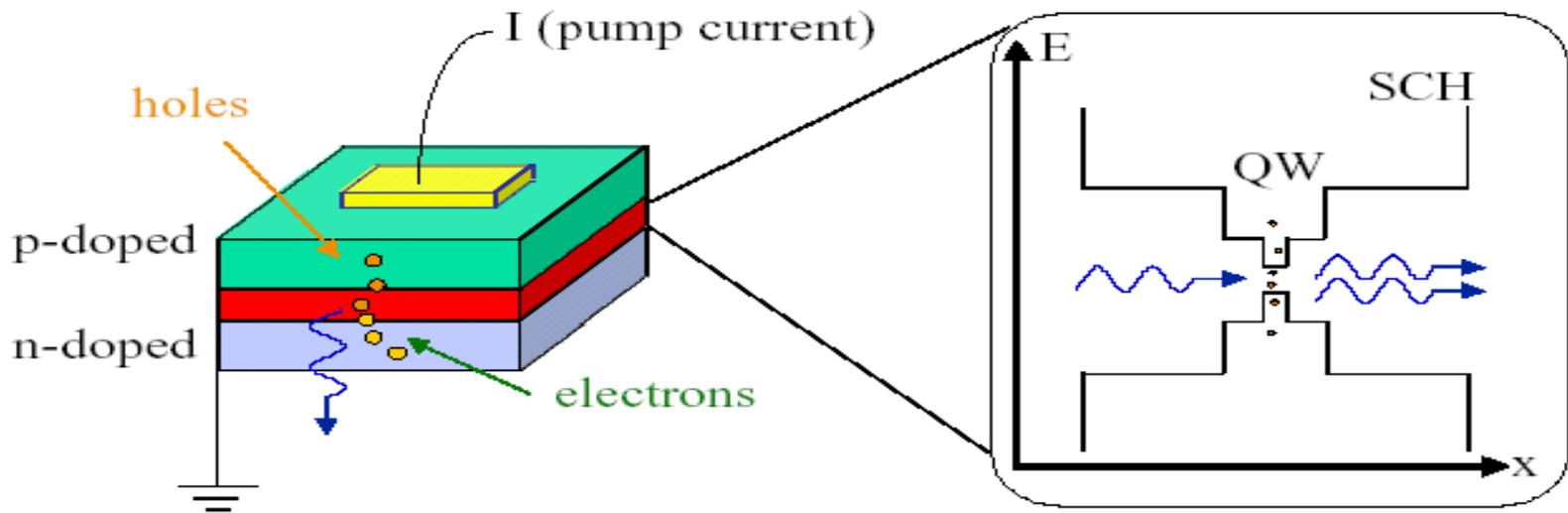
# 双异质结激光器

## Double-Heterojunction





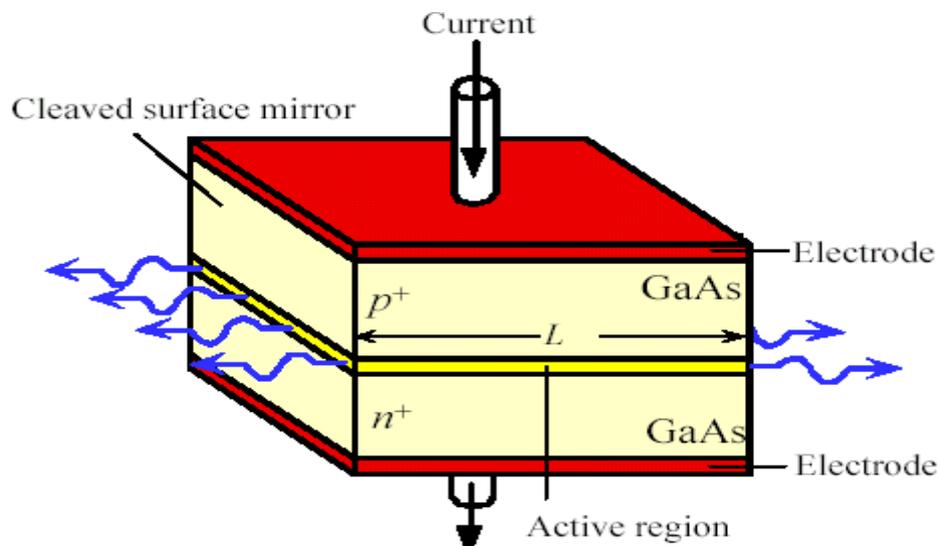
# 分别限制异质结单量子阱激光器





## 横模（两个方向）

- 半导体激光器通常是单横模（基模）工作。
- 当高温工作，或电流加大到一定程度，会激发高阶模，导致P-I曲线出现扭折（Kink），增加了噪声。
- 垂直横模
- 侧横模
- 垂直横模：由异质结各层的厚度和各层之间的折射率差决定。

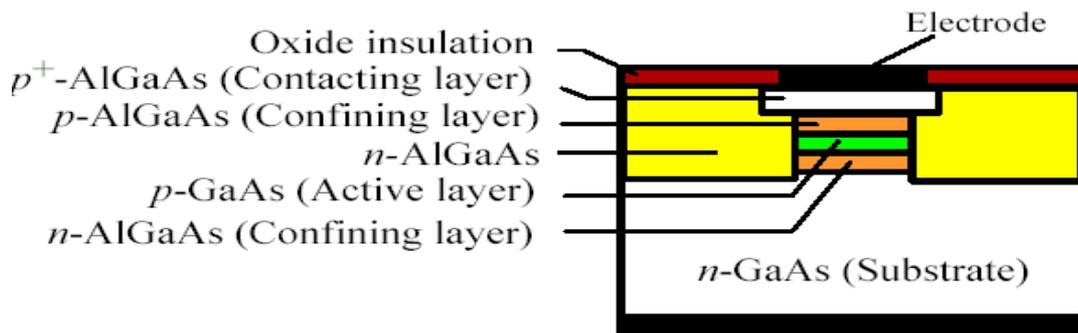




# 横模（侧横模）

## 折射率导引激光器（Index guide LD）

- 1. 强折射率导引的掩埋异质结激光器（BH-LD）



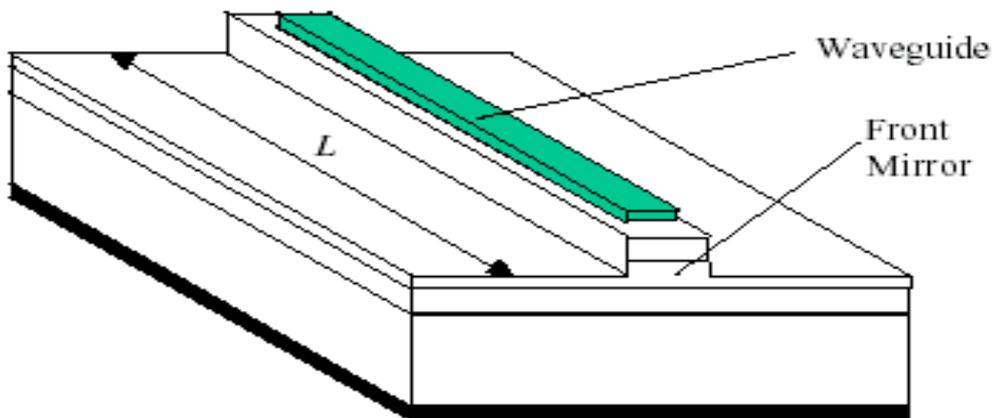
Schematic illustration of the cross sectional structure of a buried heterostructure laser diode.



# 横模（侧横模）

折射率导引激光器（Index guide LD）

2.弱折射率导引激光器：脊波导型激光器（RWG-LD）

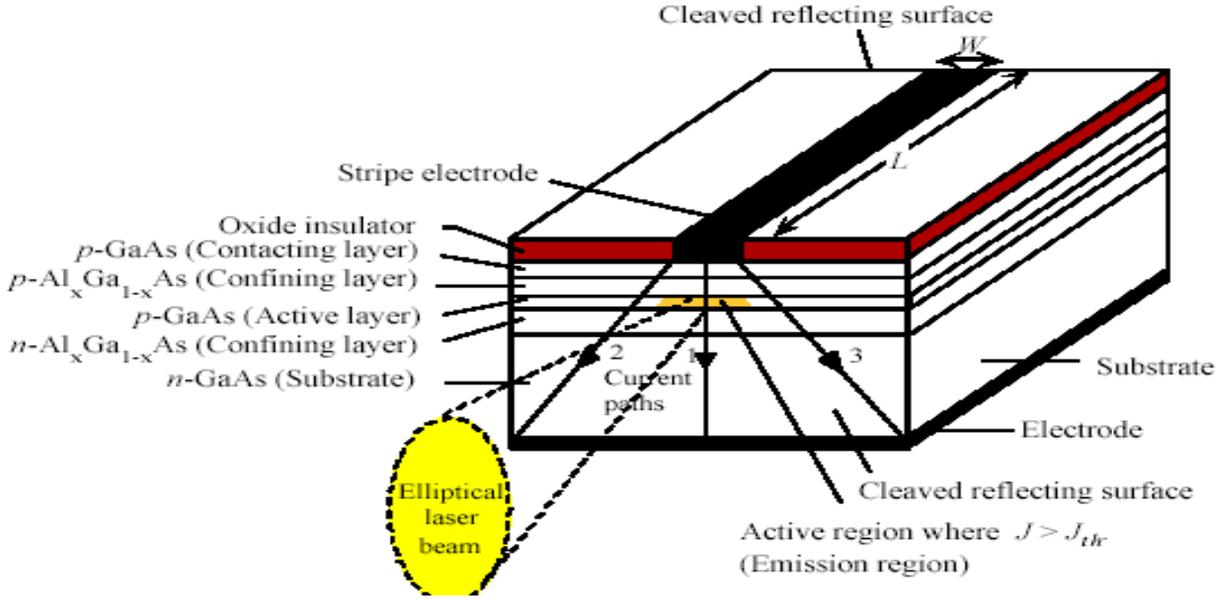




# 横模 (侧横模)

增益导引激光器(Gain guide LD)

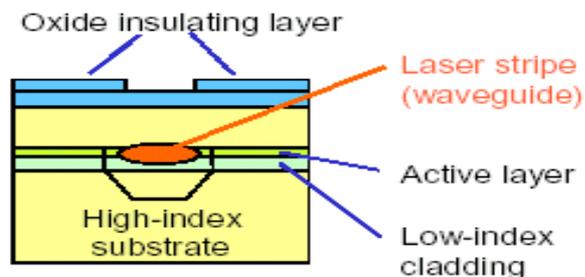
条形激光器



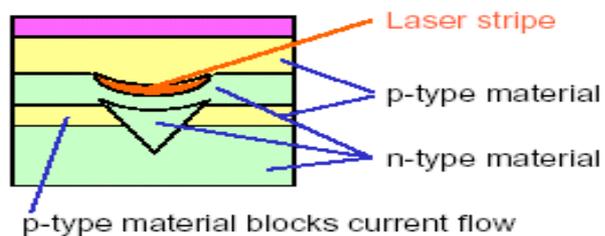


# 几种典型的折射率导引激光器

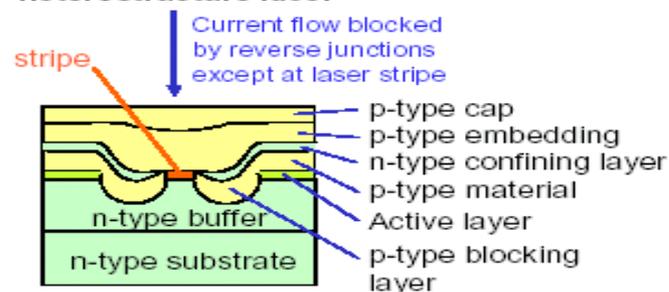
### Channeled substrate planar laser



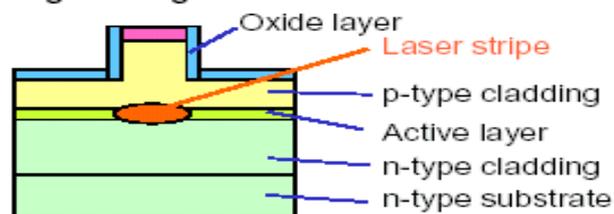
### Buried crescent laser



### Dual-channel planar buried-heterostructure laser



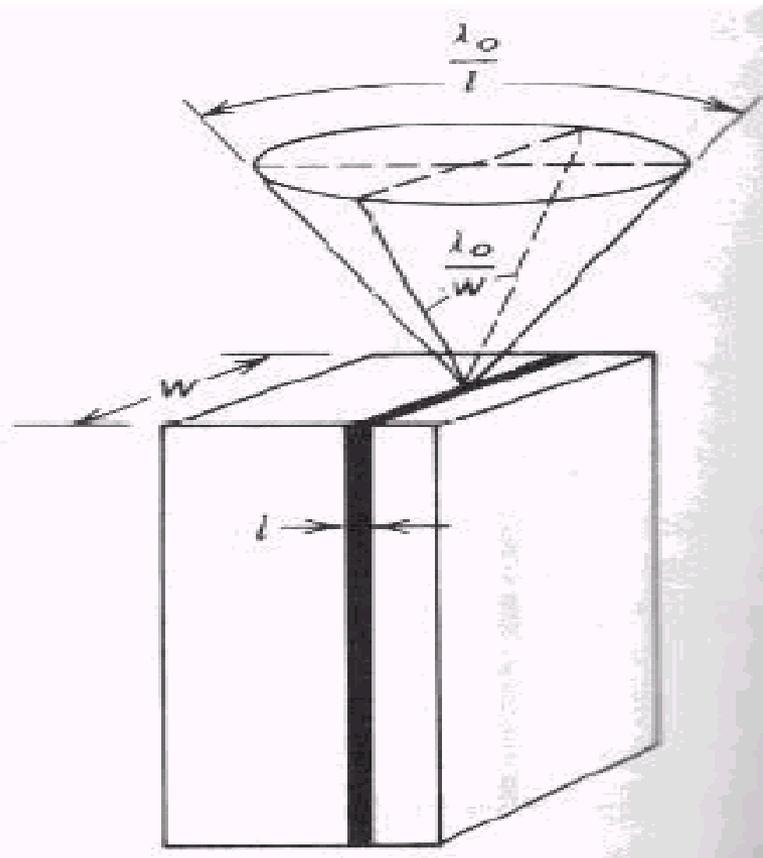
### Ridge waveguide laser





# 远场特性

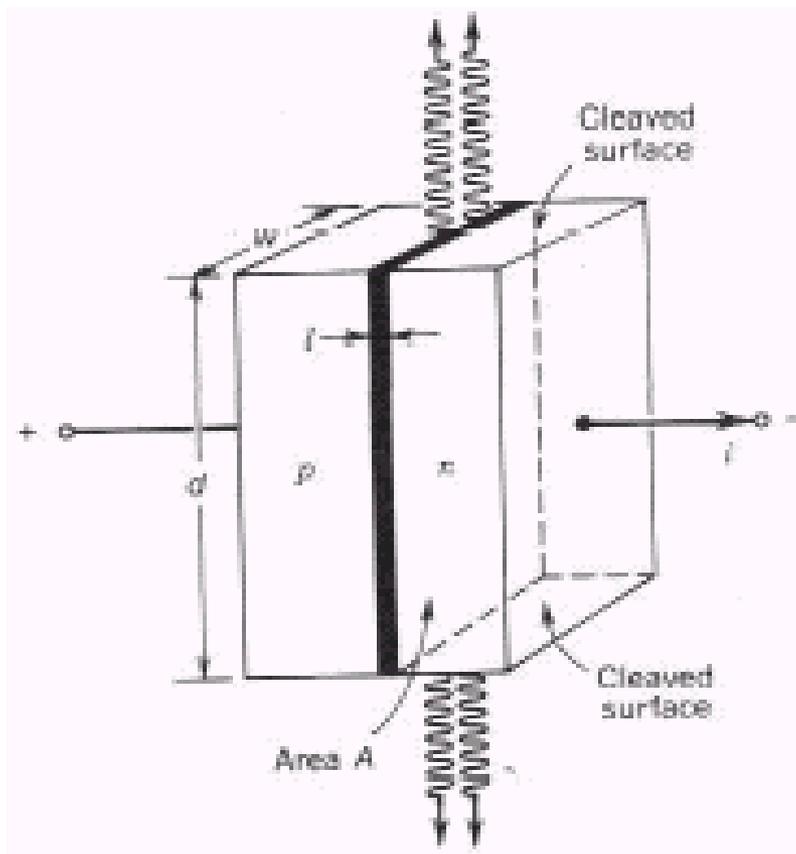
- $\theta_{\perp}$  随有源区厚度及折射率差的减小而减小。
- $\theta_{\parallel}$  随有源区宽度的减小而增大。
- 减小有源区的宽度，可以使远场更趋向于圆形光斑。
- 减小有源区宽度可以使高阶模截止。





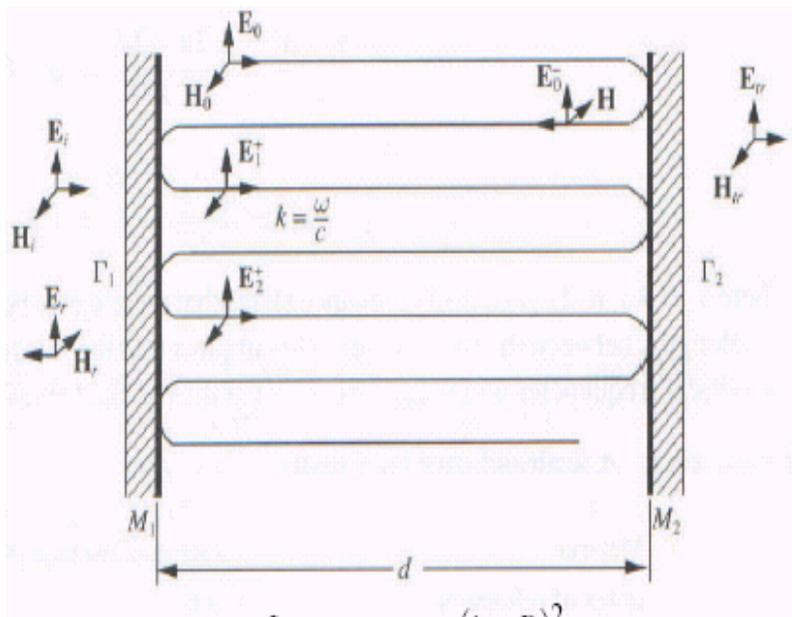
# 纵模

- **F-P腔激光器:**  
多纵模工作
- **DFB激光器**  
单纵模工作



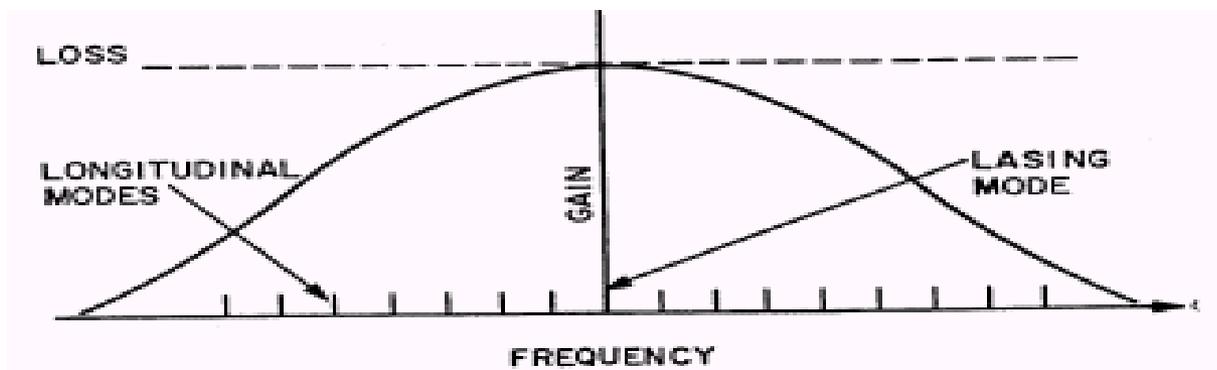


# F-P腔激光器



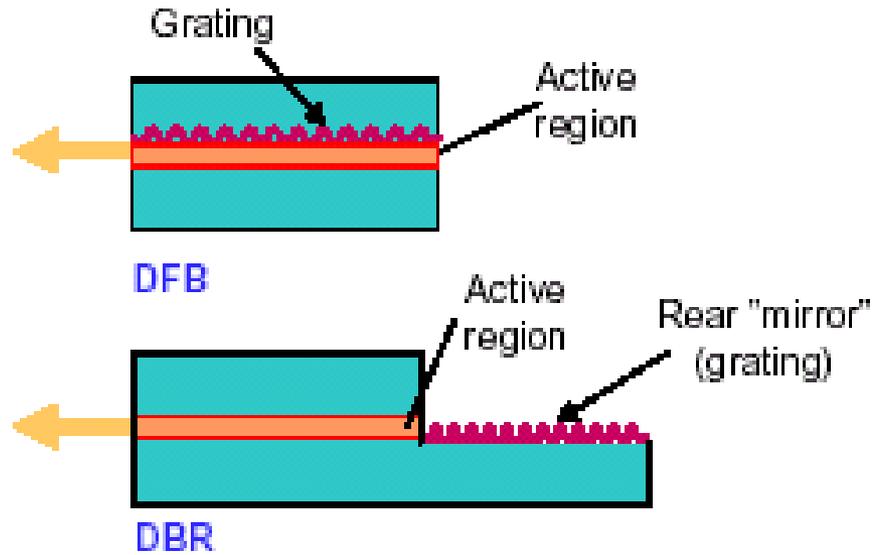
$$T(\delta) = \frac{I_{trans}}{I_{inc}} = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2 \delta}$$

$$\delta = \frac{2\pi nd}{\lambda}$$



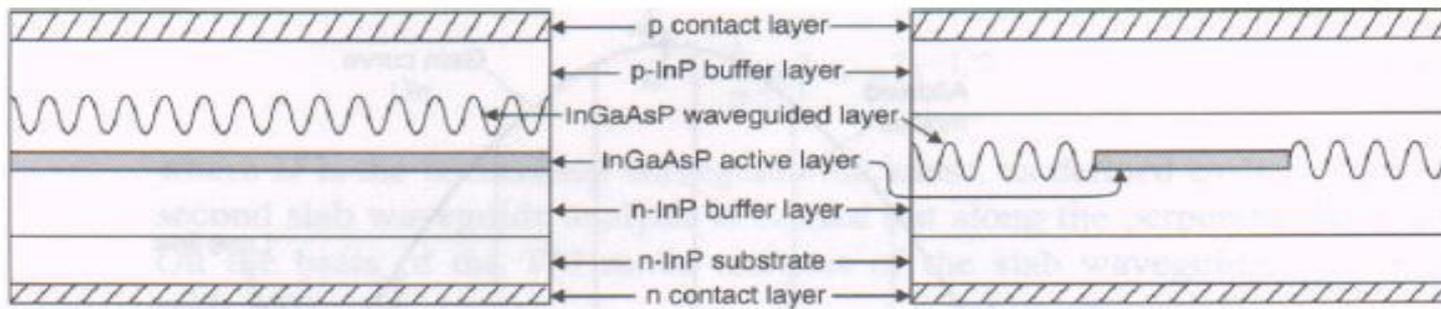


# DFB激光器





# DFB-LD与DBR-LD

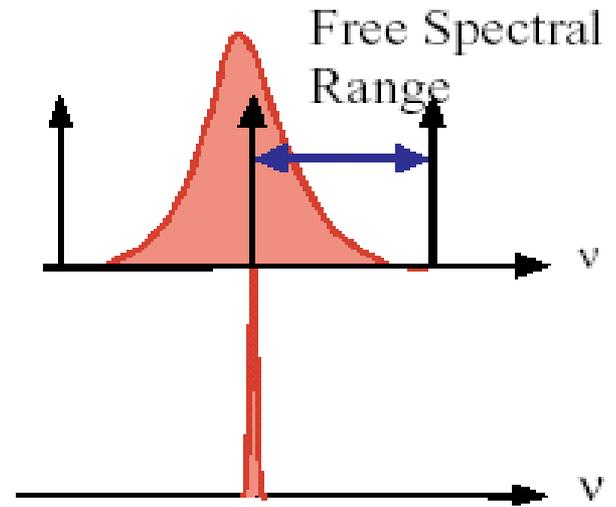
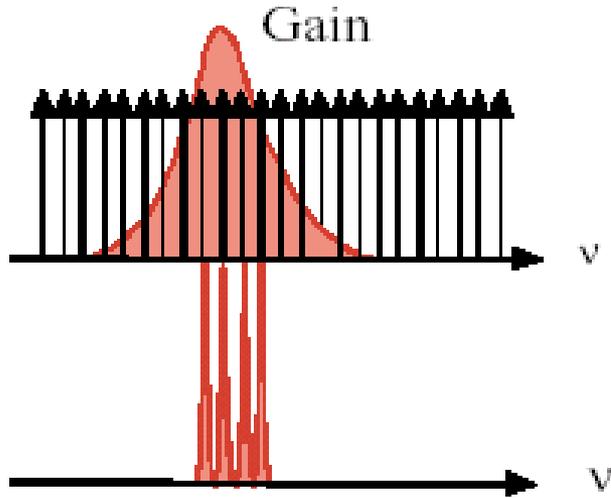


Distributed Feedback  
DFB

Distributed Bragg Reflector  
DBR

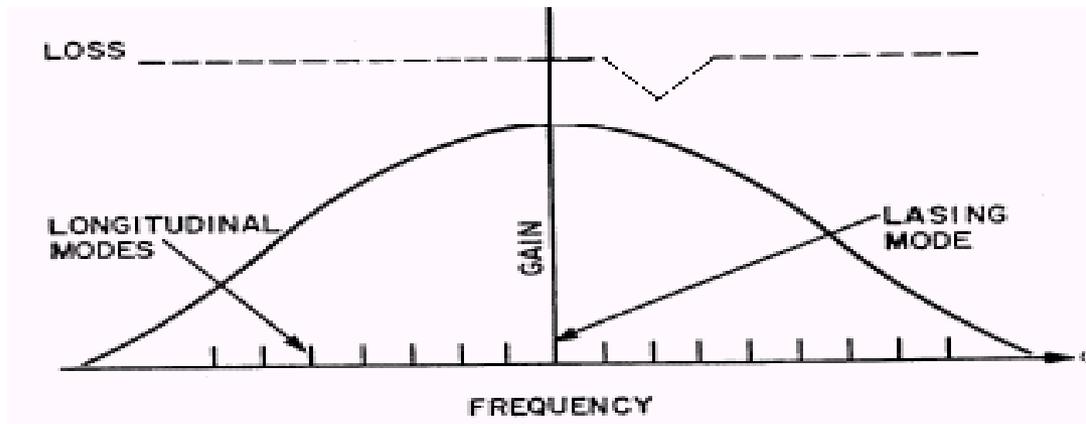


# F-P-LD与DFB-LD的纵模间隔





# DFB-LD的增益与损耗





# 工作特性

## 1. 阈值电流 $I_{th}$

影响阈值电流的因素：

1. 有源区的体积：腔长、条宽、厚度
2. 材料生长：掺杂、缺陷、均匀性
3. 解理面、镀膜
4. 电场和光场的限制水平
5. 随温度增加，损耗系数增加，漏电流增加，内量子效率降低，这些都会使阈值电流密度增加



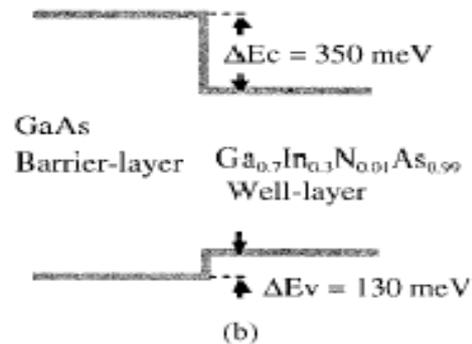
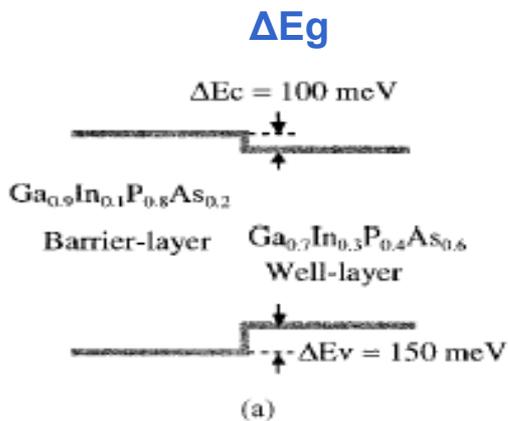
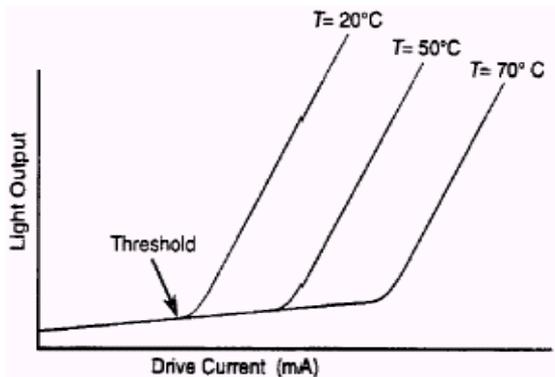
# 工作特性

## 2. 特征温度 $T_0$ （表征激光器的温度稳定性）：

测试： $T_0 = \Delta T / \Delta \ln(I_{th})$

影响 $T_0$ 的因素：限制层与有源层的带隙差 $\Delta E_g$

对InGaAsP长波长激光器， $T_0$ 随温度升高而减小





# 工作特性

## 3. 外微分量子效率 $\eta_d$ （斜率效率）：

可以直观的用来比较不同的激光器性能的优劣。

$$\eta_d = \Delta P / \Delta I$$

外微分量子效率并不是越大越好，如果太大，光功率输出随注入灵敏度太高，器件容易被损坏。



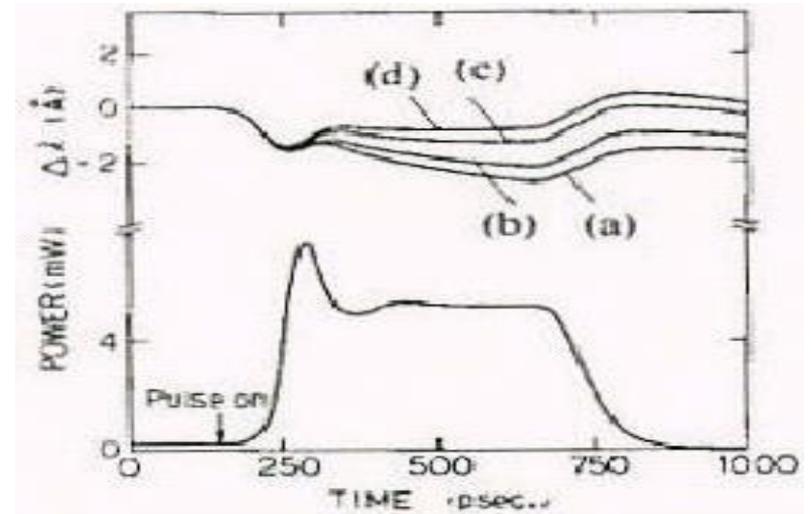
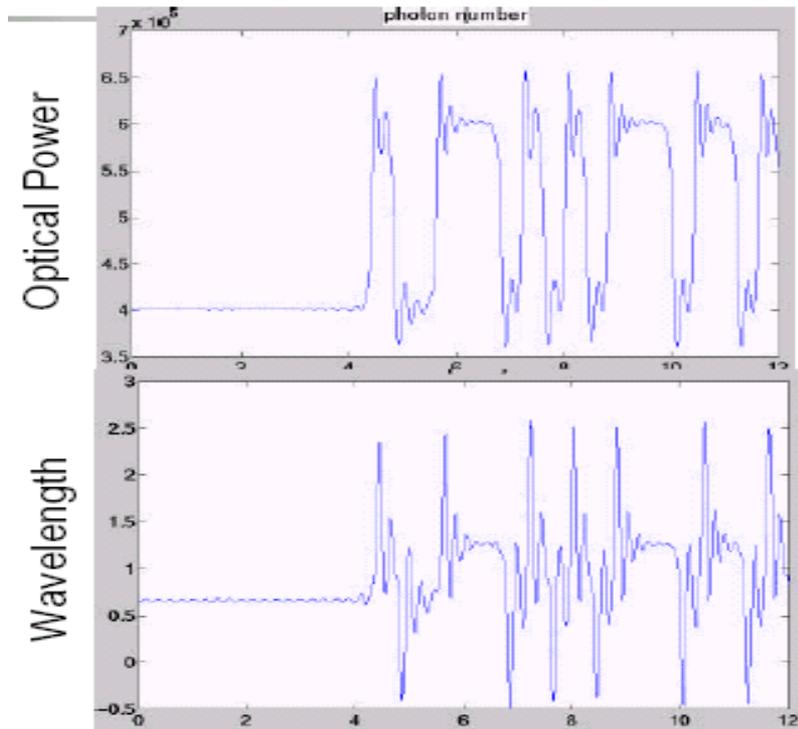
# 工作特性

## 4. 峰值波长随温度的改变 $\Delta\lambda_b / \Delta T$ :

- 对**F-P-LD**，当激光器的温度升高时，有源区的带隙将变窄，同时波导层的有效折射率发生改变，峰值波长将向长波长方向移动。约为 **0.5nm/°C** 。
- 对**DFB-LD**，激射波长主要由光栅周期和等效折射率决定，温度升高时光栅周期变化很小，所以  $\Delta\lambda_b / \Delta T$  小于 **0.1nm /°C** 。



# F-P-LD与DFB-LD的频率啁啾





# 工作特性

**5.光谱宽度**

**6边模抑制比**

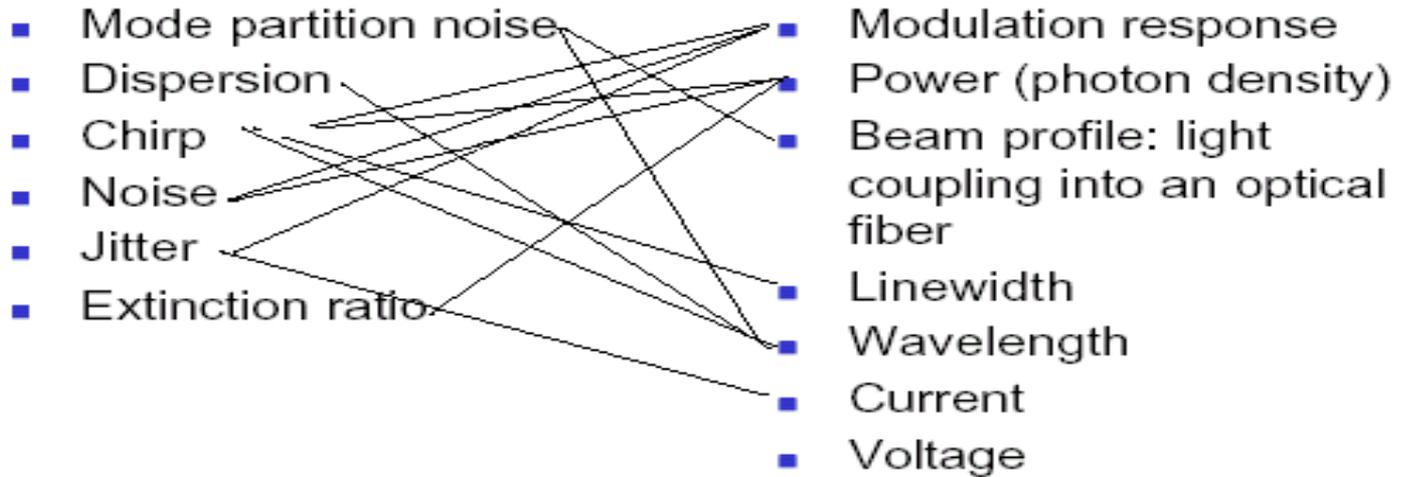
**7上升/下降时间**

**8串联电阻**

**9热阻**



# 各特性的关系





# DFB激光器的类型

- 增益耦合型DFB激光器优缺点：

优点：单模选择性不受端面反射率影响，故单模成品率高；外部反射光引起的噪声低；具有单模超短光脉冲发生的能力；高速动态调制下频率展宽(啁啾)小；

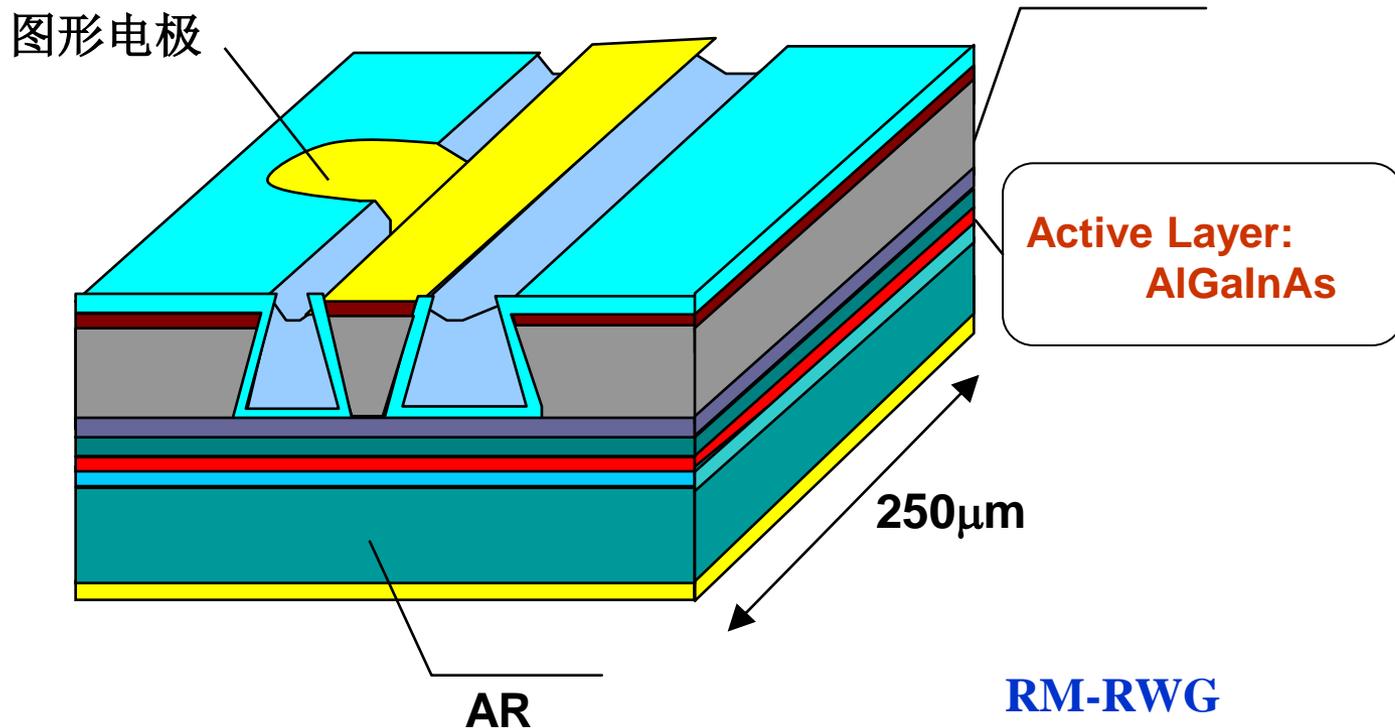
缺点是：高阈值增益。

增益光栅的制作及光栅表面的再生长是其制作的难点，容易在有源区引入大量的非辐射复合缺陷，影响到激光器的激射特性。由于注入电流变化引起耦合系数变化，所以很难达到大功率，高线性输出。



# DFB激光器的类型

- 从器件结构上分，目前产品主要采用二种结构：
  1. 脊型波导（**RWG**）结构：工艺简单，成本低，易于集成，大电流下功率曲线会出现扭折

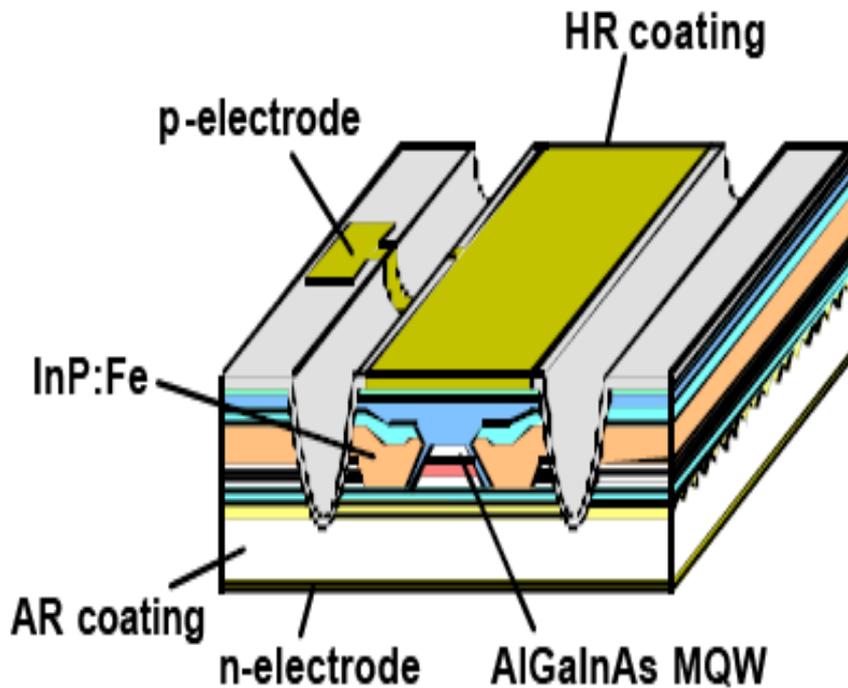




# DFB激光器的类型

## 2. DC-PBH结构:

特点：阈值电流小，耦合效率高，由于多二次MOCVD掩埋生长，工艺比较复杂。





# 高温无制冷DFB激光器结构

- 1.材料结构: InGaAsP, AlGaInAs  
AlGaInAs/InP材料的导带偏移为 $\Delta E_c = 0.72\Delta E_g$ , 而InGaAsP/InP材料的 $\Delta E_c = 0.4\Delta E_g$ , AlGaInAs/InP材料的导带偏移比InGaAsP/InP材料大近一倍。所以能有效地阻止高温注入下载流子的泄漏,改善高温特性. 同时采用应变技术使俄歇损耗减少,从而提高量子效率,进一步改善高温特性.
- 2. 器件结构: RWG结构, BH结构。



## 几种DFB激光器产品

- 接入网用低成本，高可靠，宽温度范围（-40—85C）无制冷DFB激光器：

除了DFB激光器的一般要求外，还要求激光器的阈值电流，斜率效率具有很好的温度特性。在-40—85C范围具有一定的输出功率和边模抑制比。

一般采用AlGaInAs材料RWG结构DFB激光器和InGaAsP材料DC-PBH结构DFB激光器



# 几种DFB激光器产品

- 光纤CATV系统用高线性、大功率DFB激光器：  
CATV系统中核心问题是获得高的载噪比和保证足够低的非线性失真。  
对DFB激光器的要求是高的量子效率，高的耦合效率和提高最大线性偏置电流，具体要求是：  
功率4-30mW，载噪比（CNR）55dB、二次交调（CS0）-60—65dB、三次拍频（CTB）-65dB、相对强度噪声（RIN）-155dB/Hz等。  
一般采用DC-PBH结构DFB激光器。



## 几种DFB激光器产品

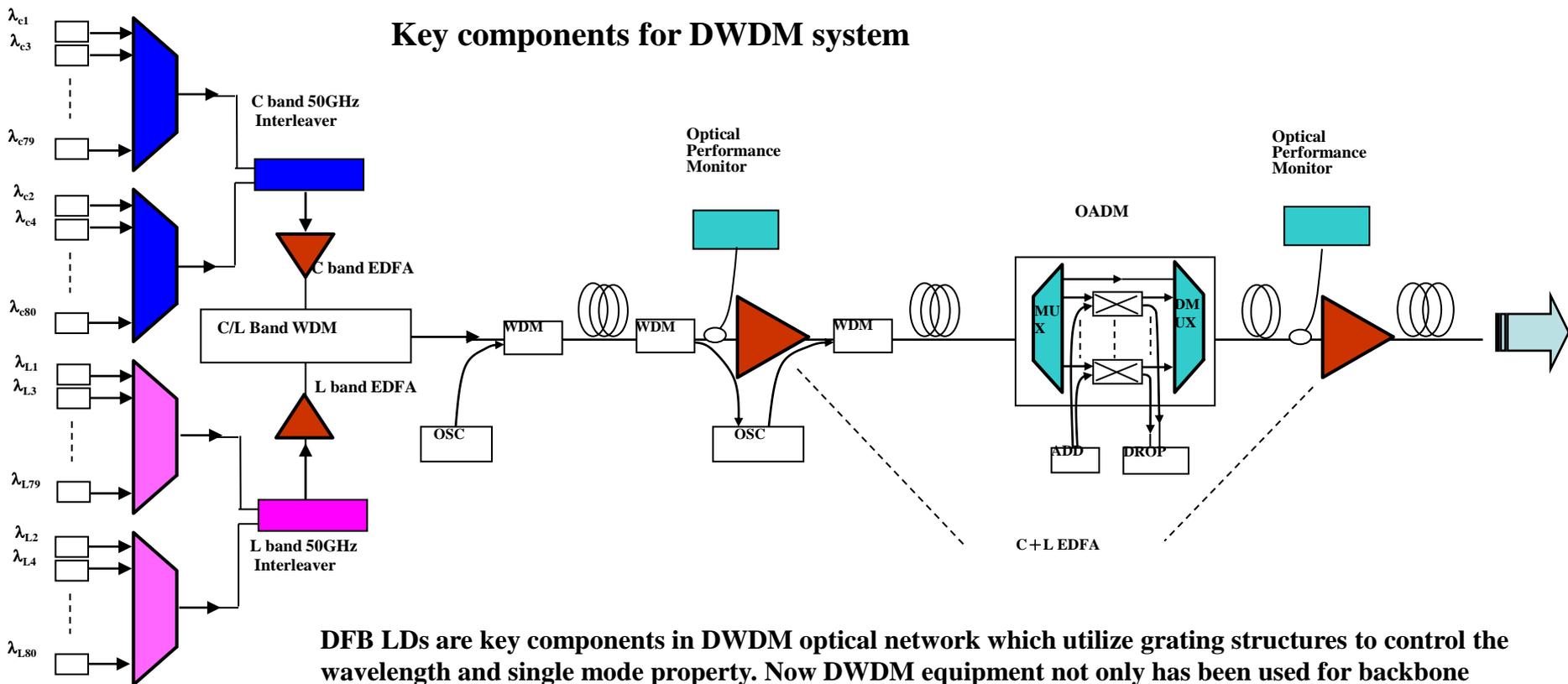
- 用于CWDM, DWDM系统的特定波长的DFB激光器  
:

DWDM系统对激光器的特殊要求主要是特定波长和波长稳定性能。ITU-T建议G. mcs规定了激光器中心波长 ( $\lambda$ ) 的特定值和波长间隔最小为0.8nm (100GHz), 。中心波长的允许偏移 ( $\Delta\lambda$ ), 即波长稳定性能, ; 对于光信道间隔为100GHz (0.8nm) 的DWDM系统,  $\Delta\lambda \leq \pm 0.15\text{nm}$  ( $\pm 20$ ) GHz。

一般采用具有相移光栅或增益光栅的DFB激光器来提高单模成品率和保证波长的稳定性。



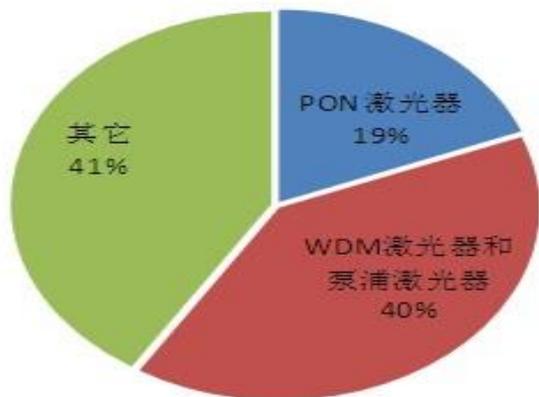
## Key components for DWDM system



DFB LDs are key components in DWDM optical network which utilize grating structures to control the wavelength and single mode property. Now DWDM equipment not only has been used for backbone networks, but also may be deployed in access networks, like WDM PON.



## 2014年通信激光器市场销售额构成预测



**According to CIR forecast, LD for Communication will Over 1 Billion US\$ in 2014. Most basic optical communication devices are pretty cheap now except the DFB LDs which satisfied the DWDM requirement. Therefore it is highly desirable to develop a low cost DFB LD manufacture process.**

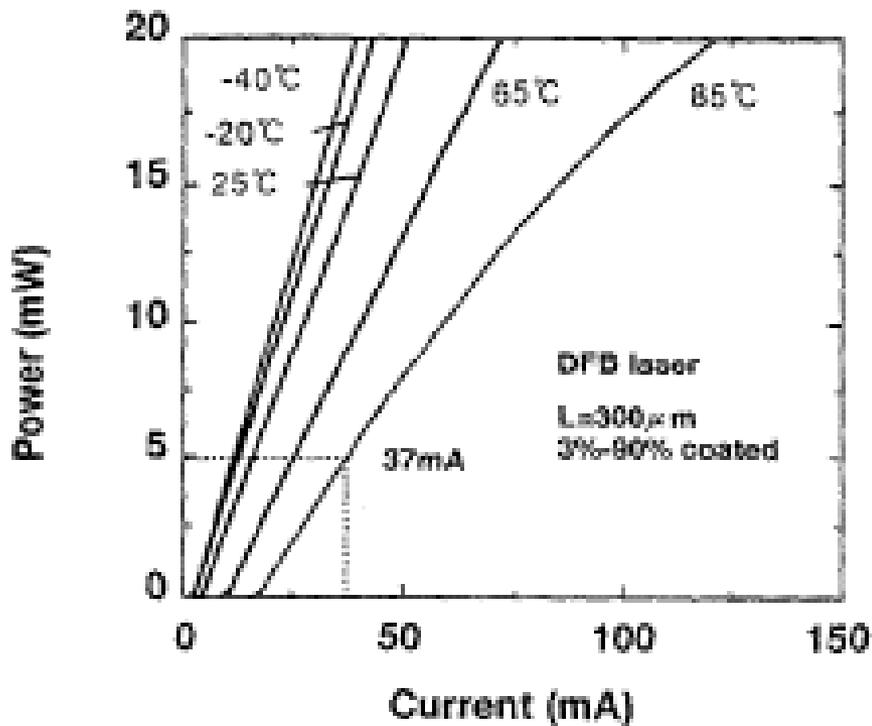
## DFB Laser price

DFB LD Die (10G)	Regular DFB	2.5Gbit/s DFB (DWDM)	10Gbit/s DFB (DWDM)	DFB for CATV
\$50	about \$100	\$250-\$500	\$600-\$1000	\$300

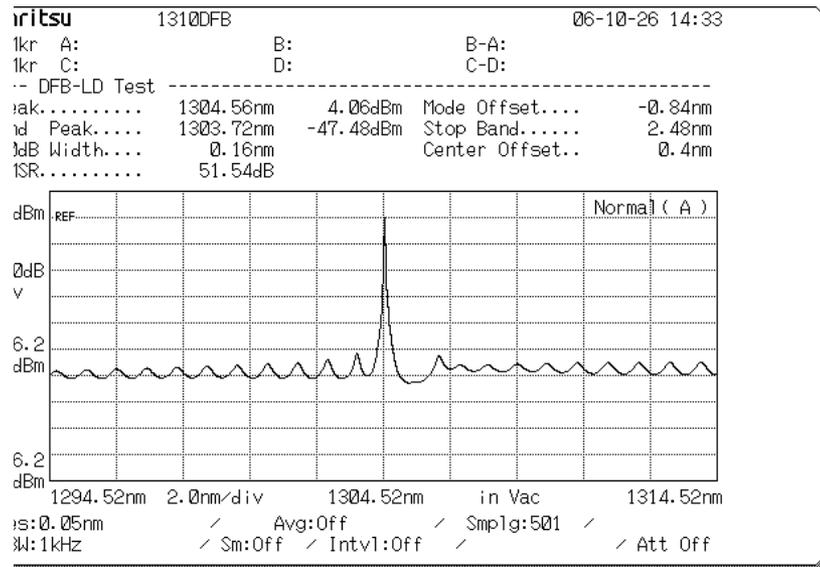


# DFB激光器主要特性曲线

## P-I曲线



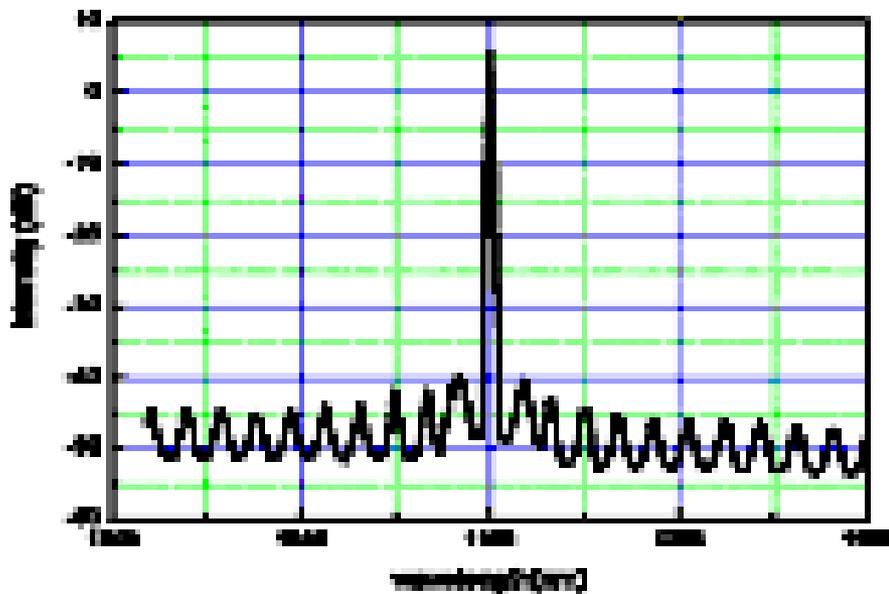
## 折射率耦合DFB-LD光谱曲线



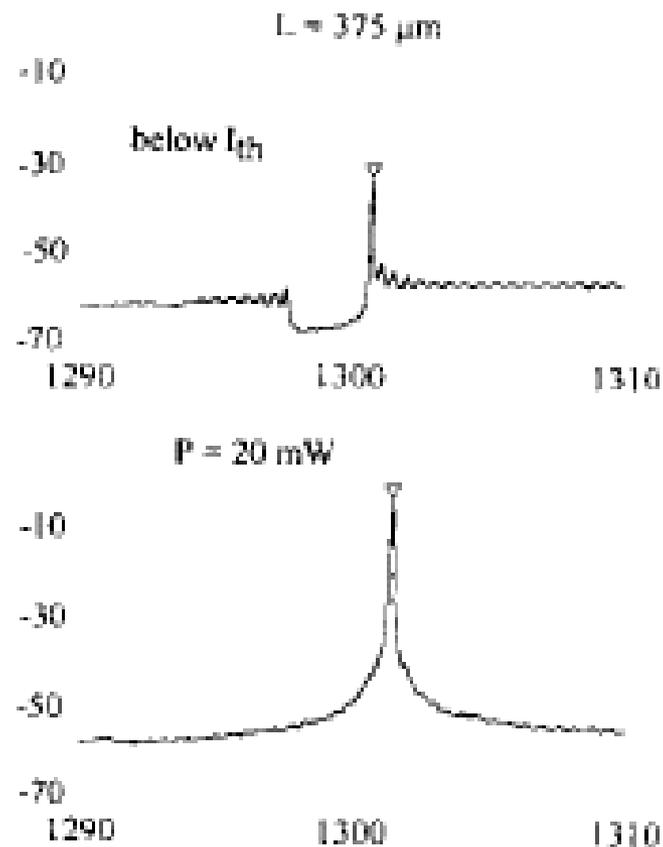


# DFB激光器主要特性曲线

## $\lambda/4$ 相移DFB激光器 光谱曲线



## 增益耦合DFB激光器光谱曲线





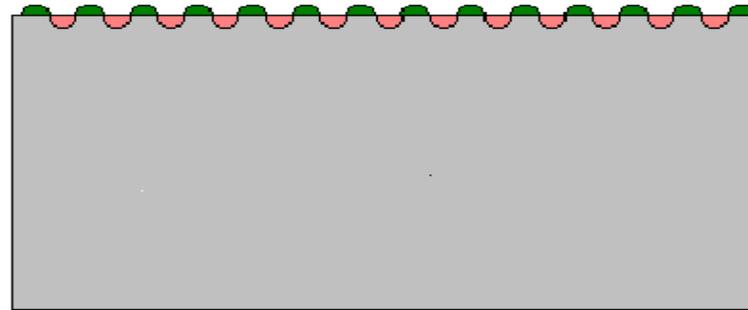
# DFB-LD芯片制造

1. 一次外延生长
2. 光栅制作
3. 二次外延生长
4. 脊波导制作
5. 欧姆接触、减薄
6. 解理成条
7. 端面镀膜
8. 解理成管芯
9. **TO-CAN**



# 1.光栅制作

- 1.全息曝光
- 2.干法或湿法刻蚀



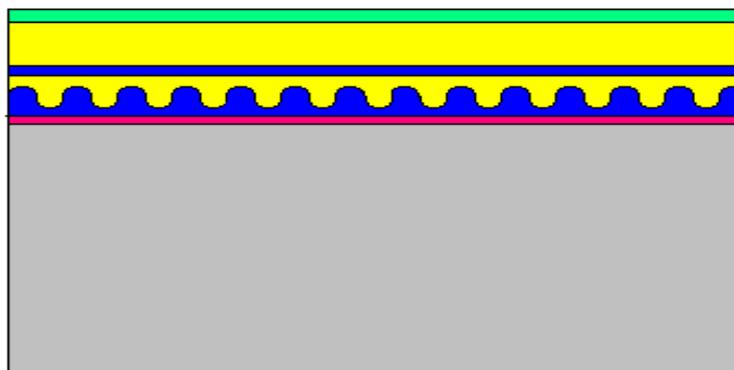
-  Photoresist
-  Etched
-  Substrate



## 2.二次外延生长

生长:

- 1.低折射率层
- 2.腐蚀停止层
- 3.包层
- 4.帽层: 接触层

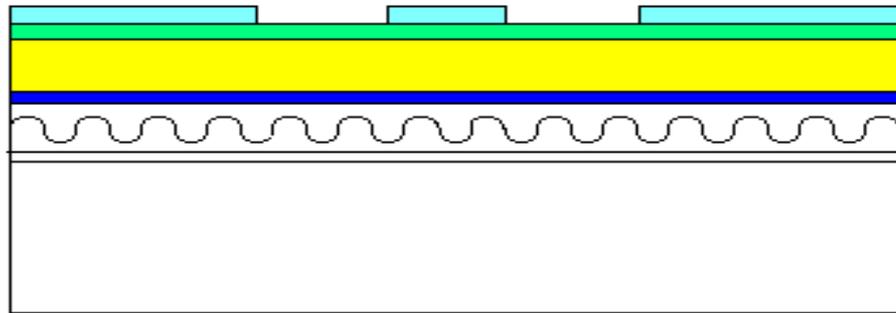


-  InGaAs
-  InP
-  InGaAsP
-  Active layer
-  Substrate



### 3.一次光刻

- 一次光刻出双沟图形

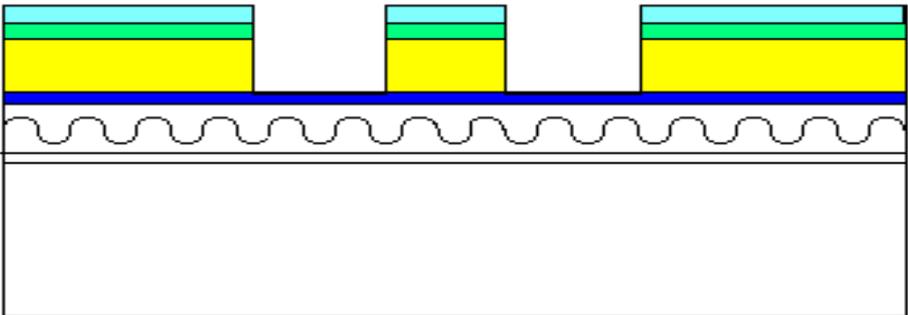


- $\text{SiO}_2$
- InGaAs
- InP
- InGaAsP



# 4.脊波导腐蚀

选择性腐蚀到四元  
停止层

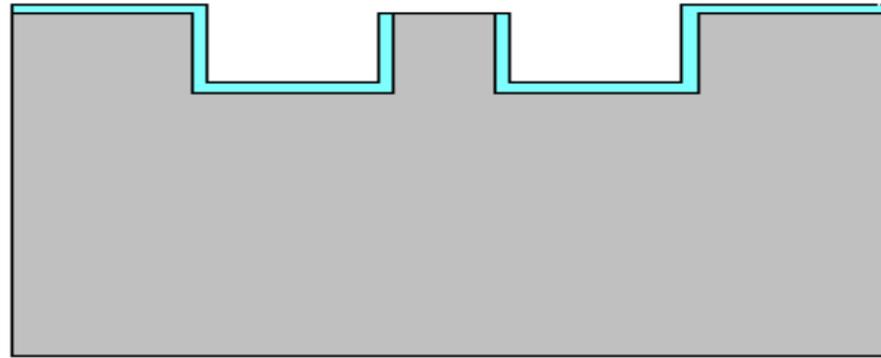


-  **SiO<sub>2</sub>**
-  **InGaAs**
-  **InP**
-  **InGaAsP**



# 5.套刻

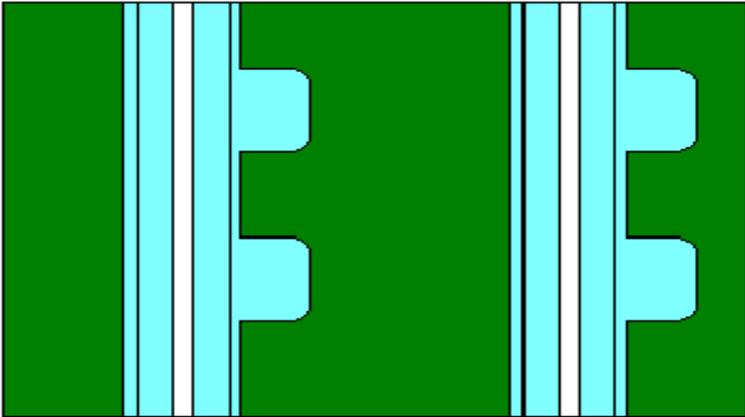
PECVD生长SiO<sub>2</sub>  
自对准光刻  
SiO<sub>2</sub>腐蚀



■ Substrate  
■ SiO<sub>2</sub>



# 6.三次光刻：电极图形

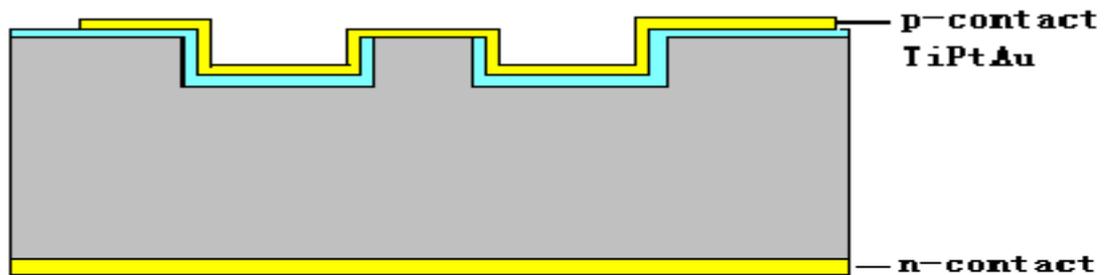


-  Photoresist
-  SiO<sub>2</sub>
-  Ridge



# 7. 欧姆接触

1. P面溅射TiPtAu
2. 减薄
3. N面 TiAu



-  Metal contact
-  Wafer
-  SiO<sub>2</sub>



# 端面镀膜

- 先解理成条
- 端面镀膜:高反膜\增透膜

端面镀膜的作用:

**1.增大出光功率, 2.减小阈值电流**  
**高反膜80-90%, 增透膜5-10%**



# ITU-T standard for DWDM wavelength plan

## ITU STANDARD FIBER-OPTIC TELECOMMUNICATION CHANNEL: FREQUENCY AND WAVELENGTHS

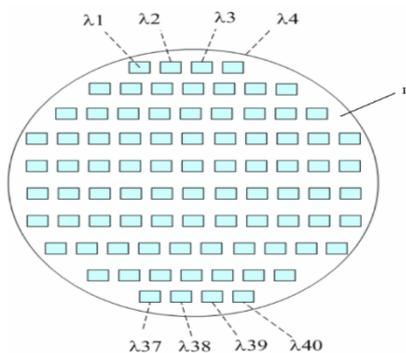
CH	FREQUENCY (GHz)	Wavelength (nm)	CH	Frequency	Wavelength (nm)
15	191500	1565.50	44	194400	1542.14
16	191600	1564.68	45	194500	1541.35
17	191700	1563.86	46	194600	1540.56
18	191800	1563.05	47	194700	1539.77
19	191900	1562.23	48	194800	1538.98
20	192000	1561.42	49	194900	1538.19
21	192100	1560.61	50	195000	1537.40
22	192200	1559.79	51	195100	1536.61
23	192300	1558.98	52	195200	1535.82
24	192400	1558.17	53	195300	1535.04
25	192500	1557.36	54	195400	1534.25
26	192600	1556.55	55	195500	1533.47
27	192700	1555.75	56	195600	1532.68
28	192800	1554.94	57	195700	1531.90
29	192900	1554.13	58	195800	1531.12
30	193000	1553.33	59	195900	1530.33
31	193100	1552.52	60	196000	1529.55
32	193200	1551.72	61	196100	1528.77
33	193300	1550.92	62	196200	1527.99
34	193400	1550.12	63	196300	1527.22
35	193500	1549.32	64	196400	1526.44
36	193600	1548.51	65	196500	1525.66
37	193700	1547.72	66	196600	1524.89
38	193800	1546.92	67	196700	1524.11
39	193900	1546.12	68	196800	1523.34
40	194000	1545.32	69	196900	1522.56
41	194100	1544.53	70	197000	1521.79
42	194200	1543.73	71	197100	1521.02
43	194300	1542.94	72	197200	1520.25

Frequencies are accurate values, wavelengths are dependent on the media properties.

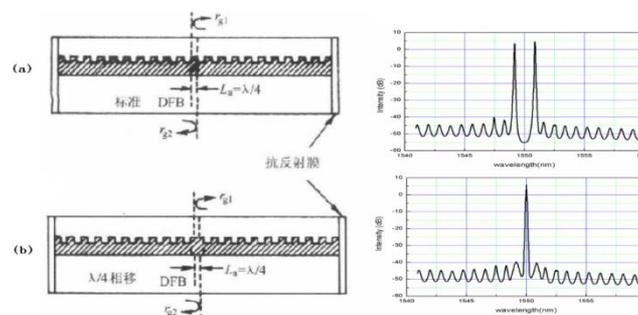


# Nano-imprint Technique for DFB Laser

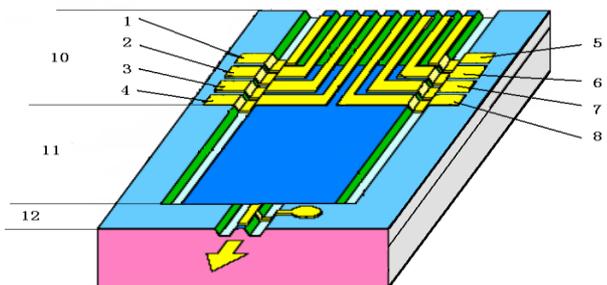
## Nanoimprint Advantages for DFB LD



**Multi wavelength chips can be done on a signal wafer**



**1/4λPhase shift grating**



**Multi-Channel DFB LD array**



## **A few Challenges for DWDM DFB based on Nanoimprint Process**

- **High quality and cost effective mold**
- **Anti-stick recipe**
- **Mold and Wafer protection**
- **Epitaxial layers protection**
- **Defect controlling**



# Multi-Channel DWDM LD Made on one Single Wafer

**Bragg Grating Equation:**

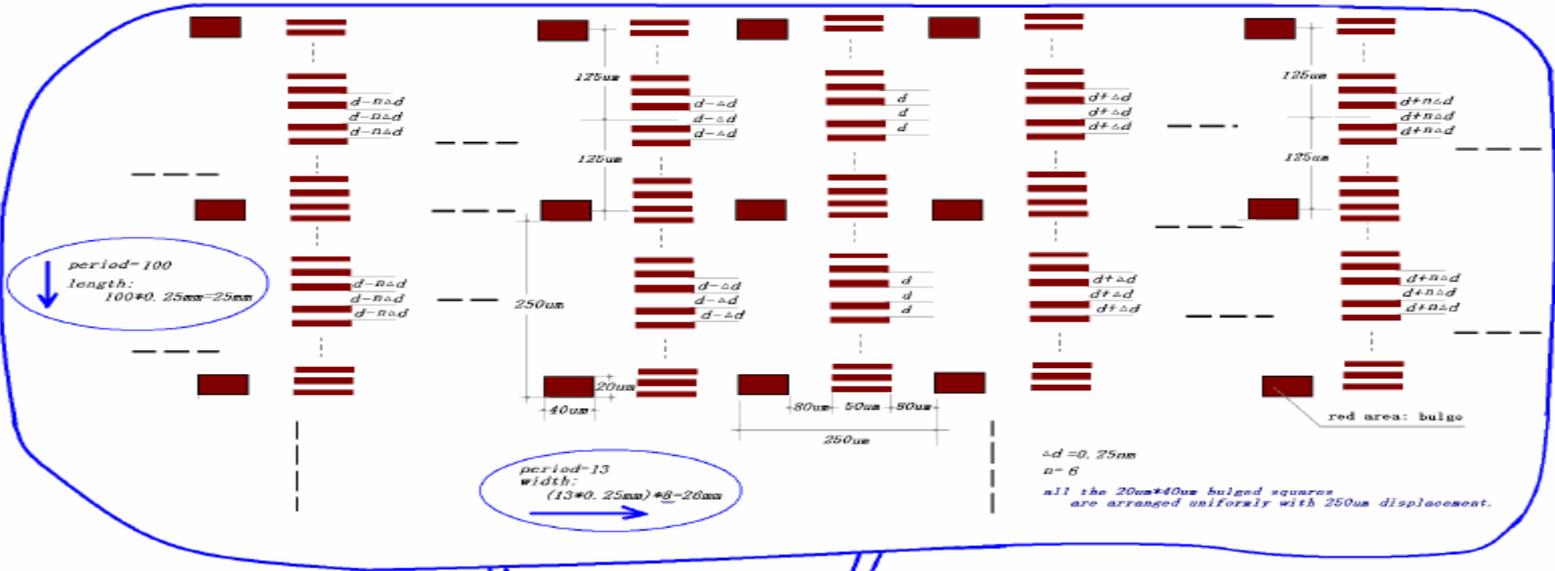
$$\Lambda = 2n\lambda$$

$$\Delta\lambda = 1.6nm$$

**ITU Regulation of 200 GHz Channel Spacing means 1.6nm difference in wavelength, at wavelength of 1550nm, the grating period on InP is only about 240nm, thus the corresponding adjacent grating periodic difference is only 0.25nm**

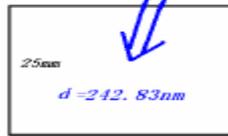
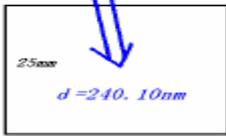


# DWDM DFB Grating Design Pattern



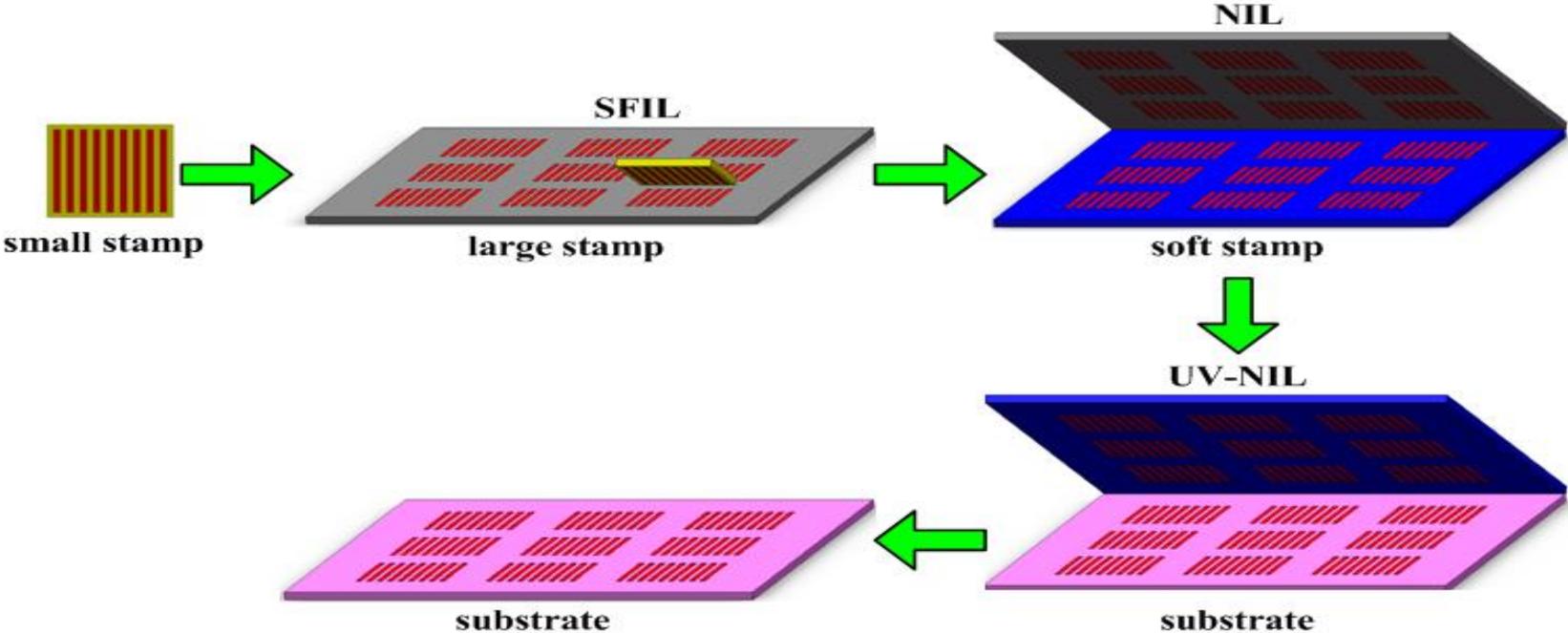
period-100  
 length:  
 $100 \times 0.25\text{mm} = 25\text{mm}$

period-13  
 width:  
 $(13 \times 0.25\text{mm}) \times 8 = 26\text{mm}$



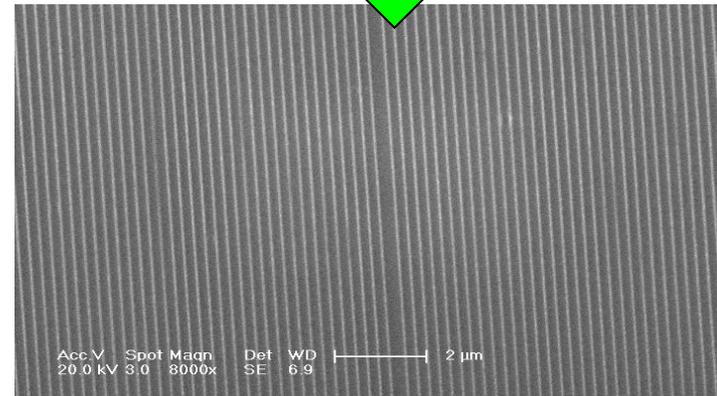
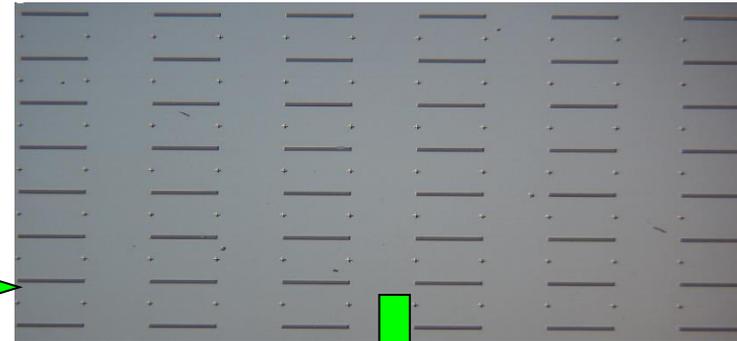
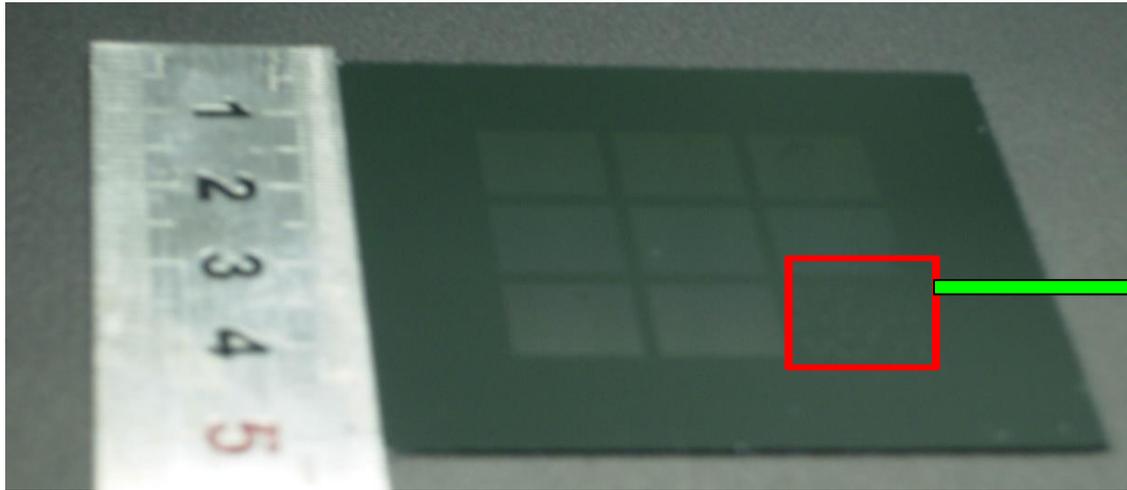


# Second Mold by Duplication Process



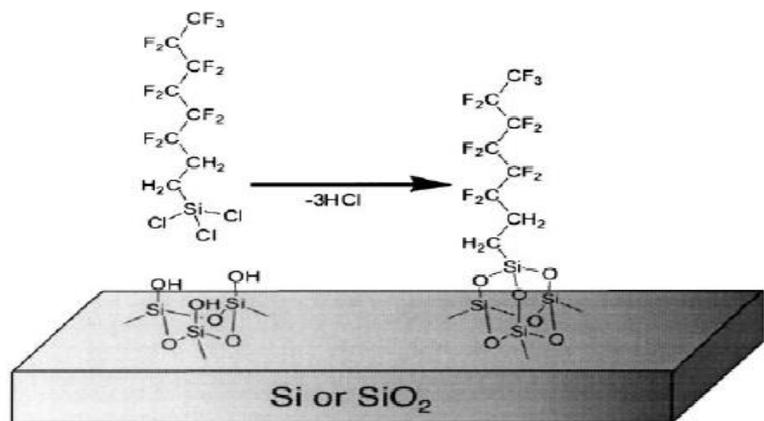


## Second Mold by Duplication Process



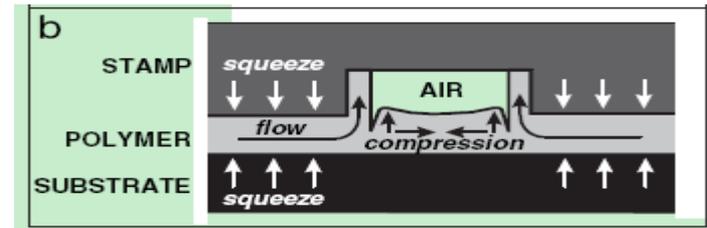
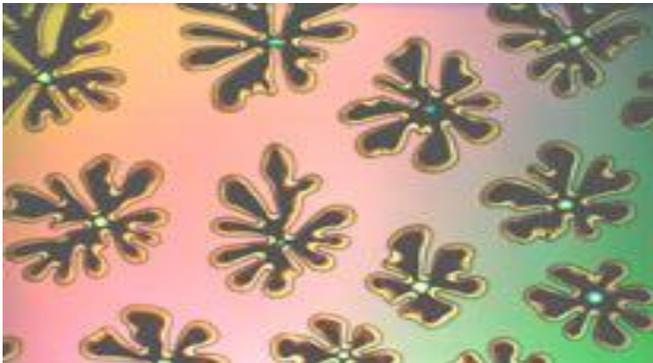
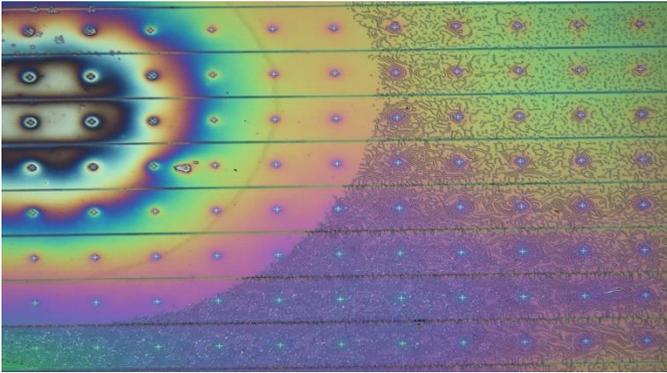


# Anti Stick Layer



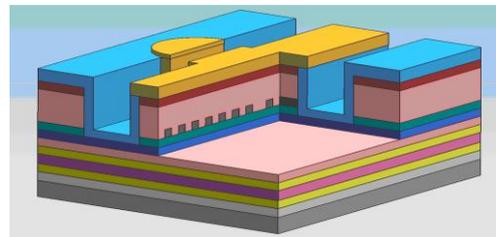
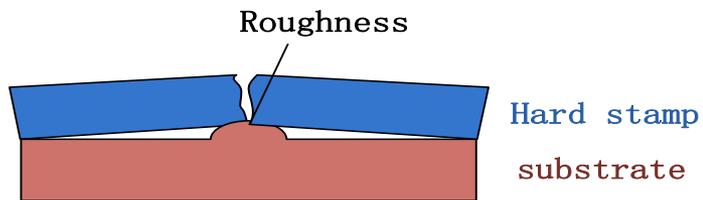
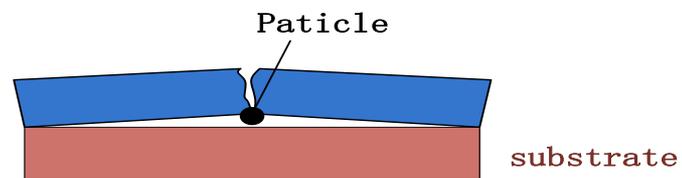
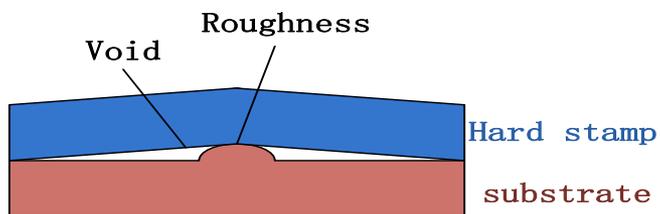


# Defect Controlling





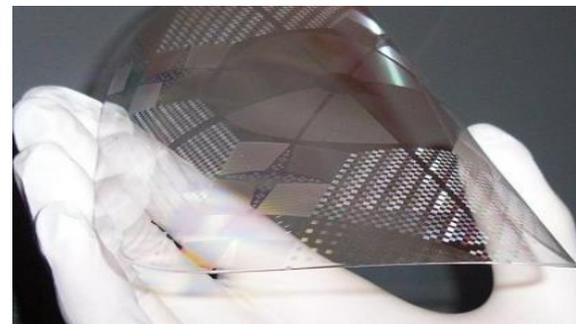
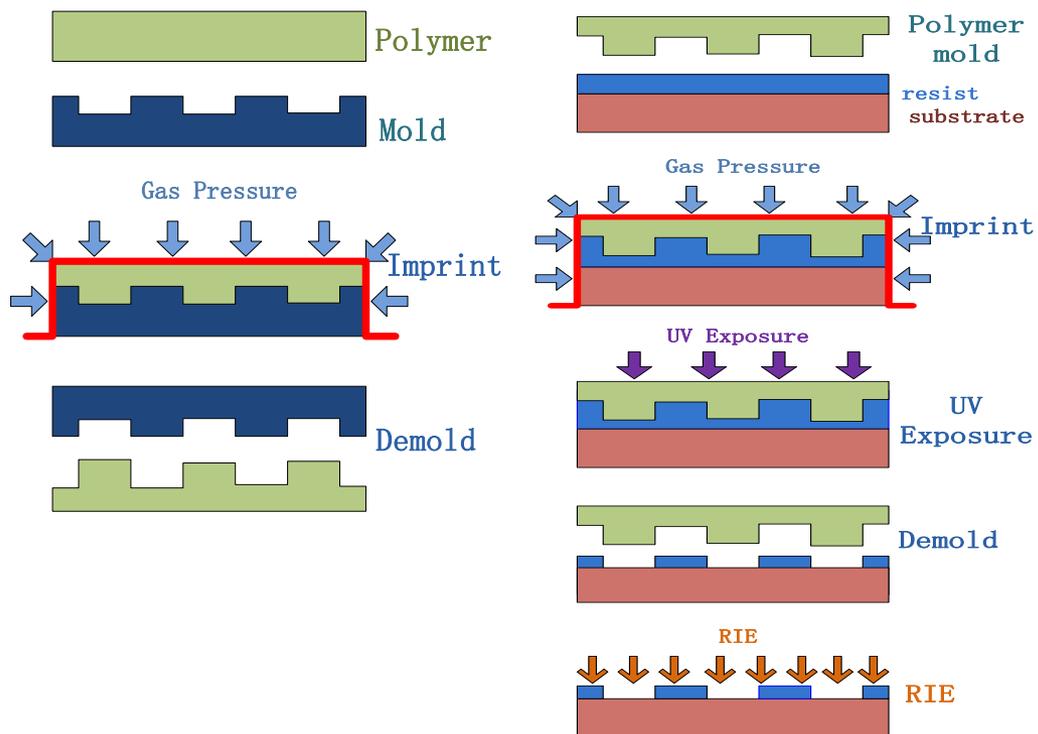
# Pressure Optimum



Structure of DFB

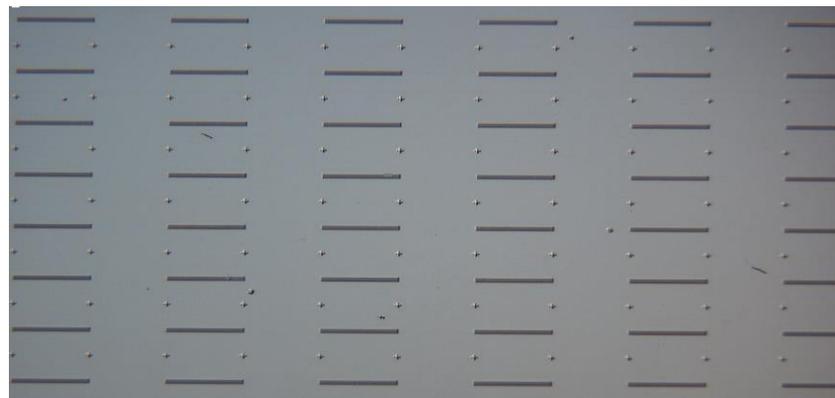
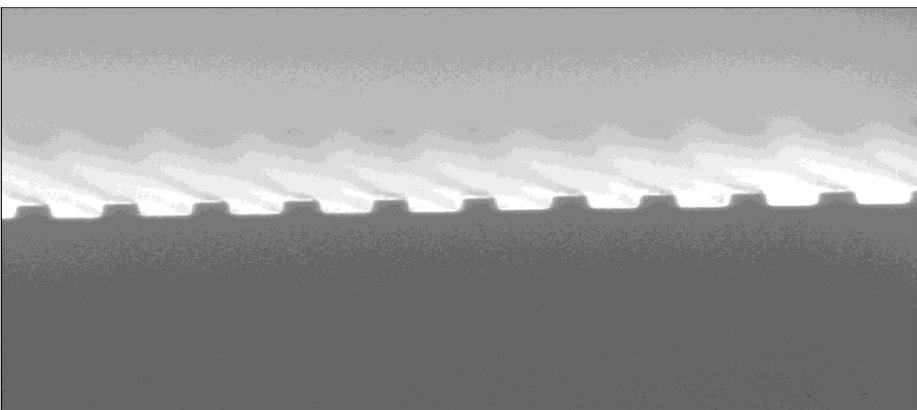
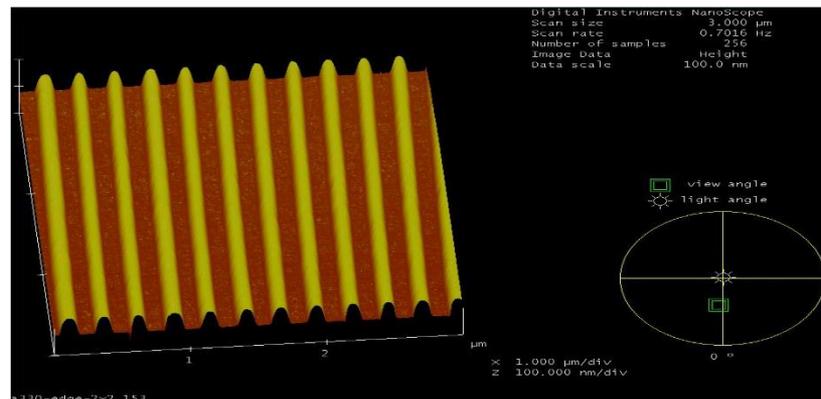
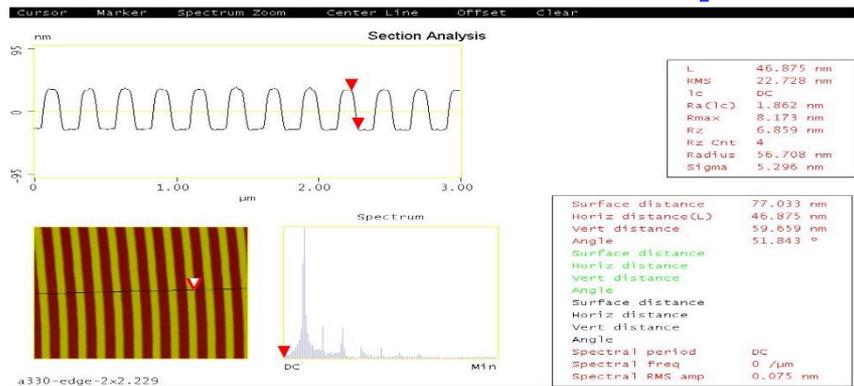


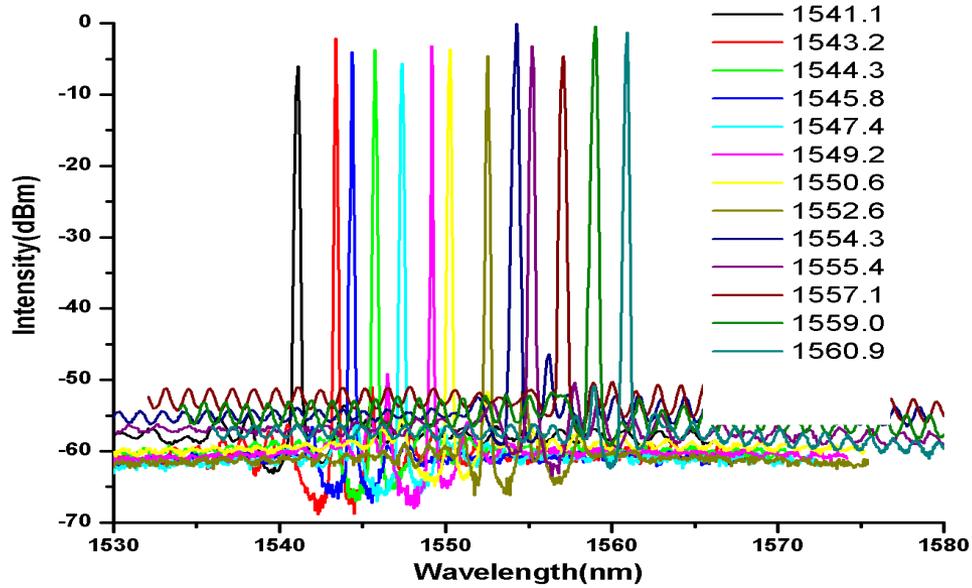
# Soft Mold Technology





# Experiment results

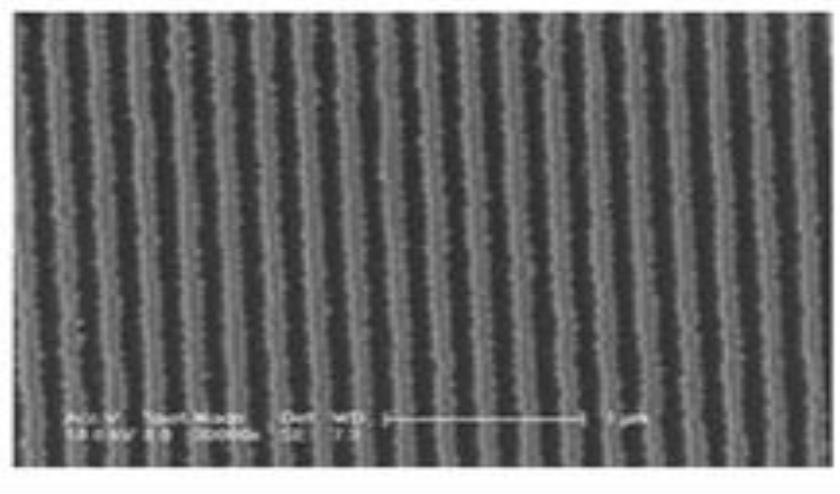
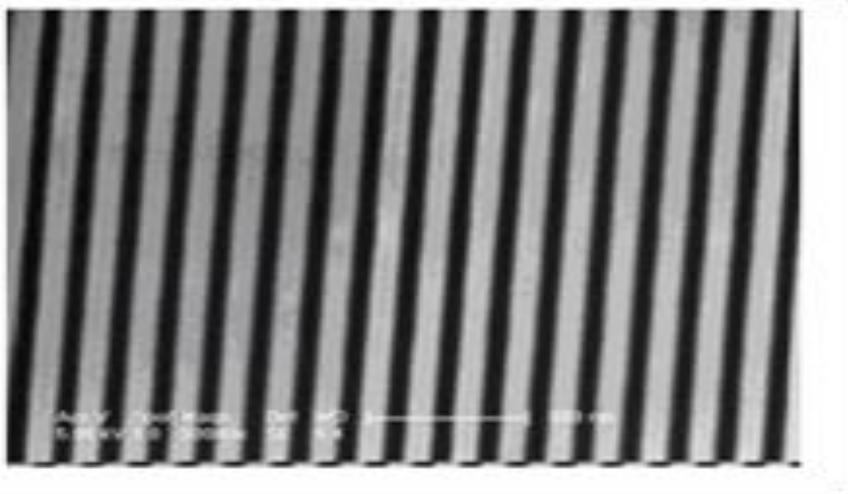




**Channel Spacing Uniformity of manufactured DFB LDs.**



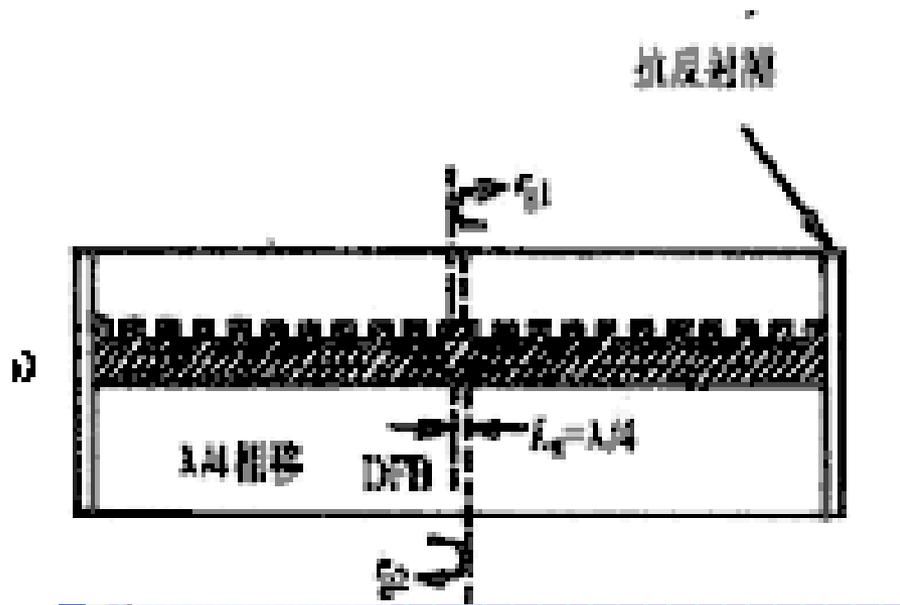
## A comparison Between Holography and Nanoimprint Process





# DFB激光器的改进

## 2. 光栅中心引入 $\lambda/4$ 相移DFB激光器

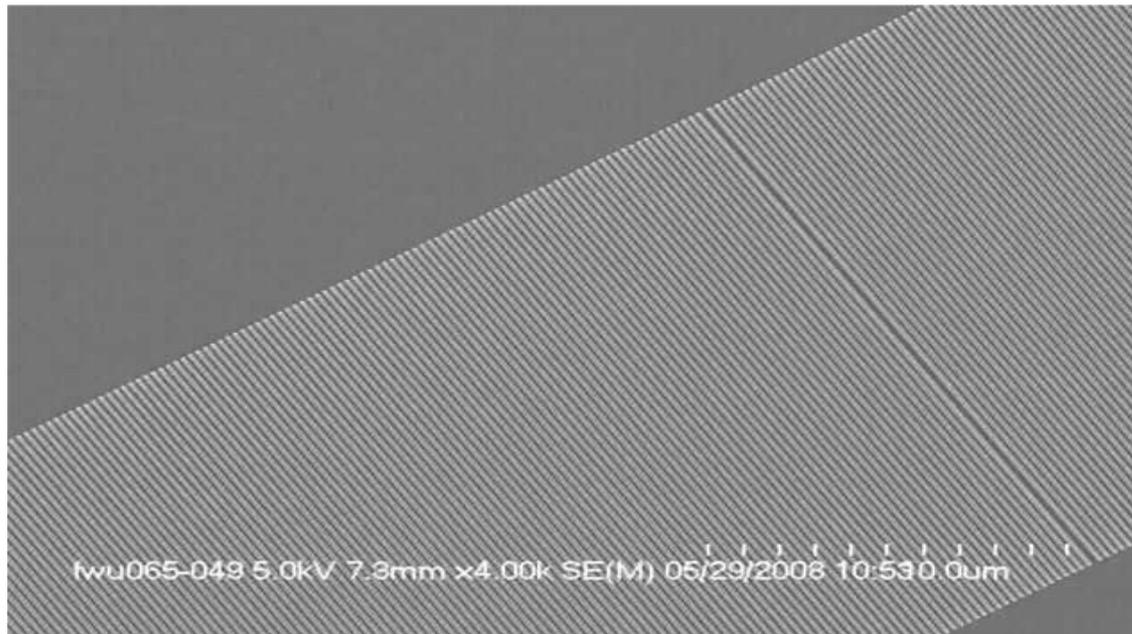


优点是：容易实现单纵模工作，消除模式兼并，单模成品率高。

缺点是：光栅制作工艺成本高，容易引起空间烧孔效应。二端面需要镀增透膜，后端面输出功率不能得到有效利用。



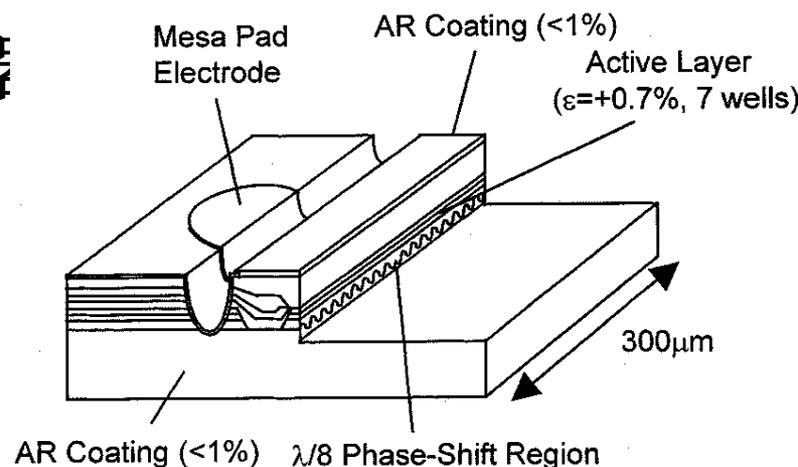
## DFB Mold With $\frac{1}{4}$ Wavelength Phase Shift





# DFB激光器的改进

## 3. 光栅中引入 $\lambda/8$ 相移DFB激光器



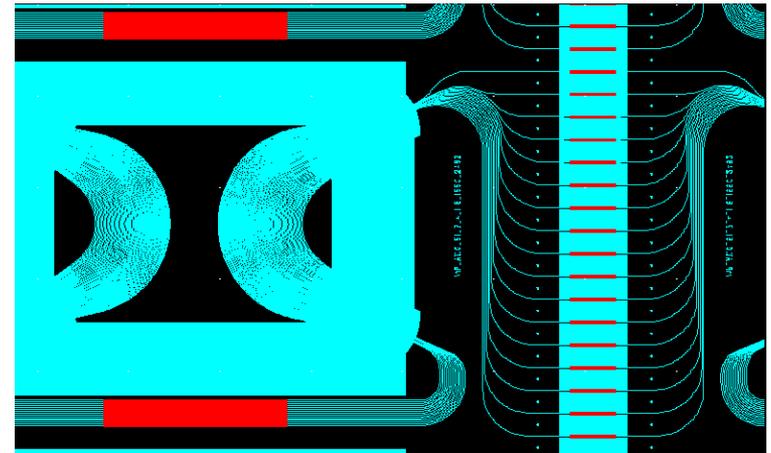
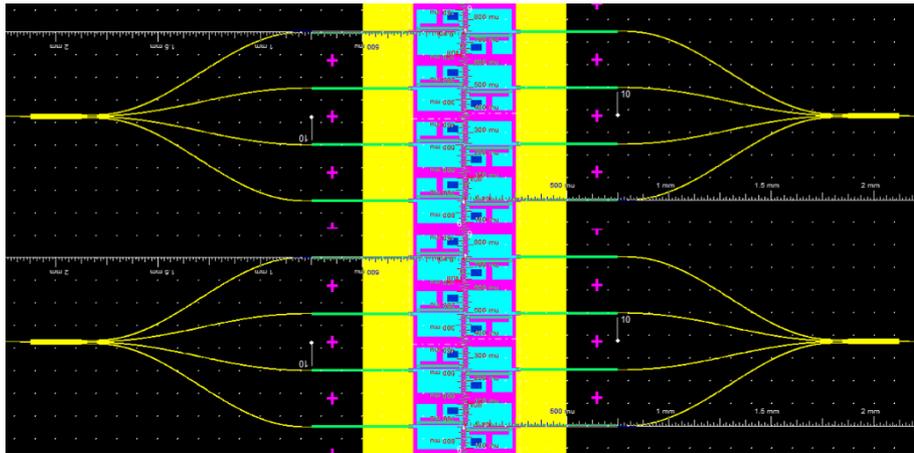
优点是：引入 $1/8$ 波长位移结构可以获得95%以上的右侧激射，单模成品率高，可减少空间烧孔效应获得低啁啾的芯片特性。

缺点是：光栅制作工艺成本高，二端面需要镀增透膜，后端面输出功率不能得到有效利用。

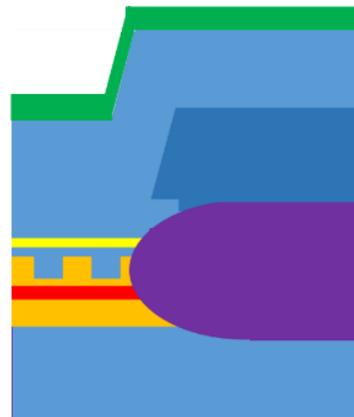


# 基于DFB阵列的集成器件制作

器件版图设计:



Layer	Material	Thick	Doping	Function
1	p-InGaAs	200 nm	$1 \times 10^{19}$	Contact layer
2	P-InP	1600 nm	$1 \times 10^{18}$	Cladding layer
3	p-InP	20 nm	$1 \times 10^{18}$	Etching stop layer
4	p-InP	100nm	$1 \times 10^{18}$	Spacer
5	1.2Q	100nm	$1 \times 10^{18}$	Up cladding layer
6	MQW	100nm	$1 \times 10^{18}$	PL:1540 nm
7	1.2Q	100nm	$1 \times 10^{18}$	Down cladding layer
8	n-InP buffer	500nm	$1 \times 10^{18}$	
9	Sub			

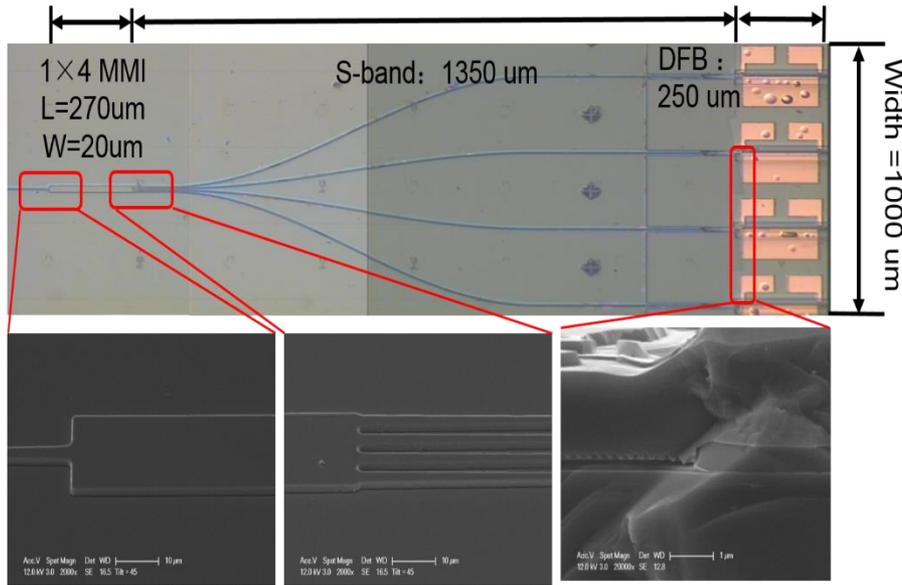


Layer	Material	Thick	Doping	Function
1	p-InGaAs	200 nm	$1 \times 10^{19}$	Contact layer
2	P-InP	1600 nm	$1 \times 10^{18}$	Cladding layer
3	u-InP	400 nm	Uld	Cladding layer
4	1.24Q	400nm	Uld	Waveguide layer
5	n-InP buffer	100nm	$1 \times 10^{18}$	Down cladding layer
6	sub			

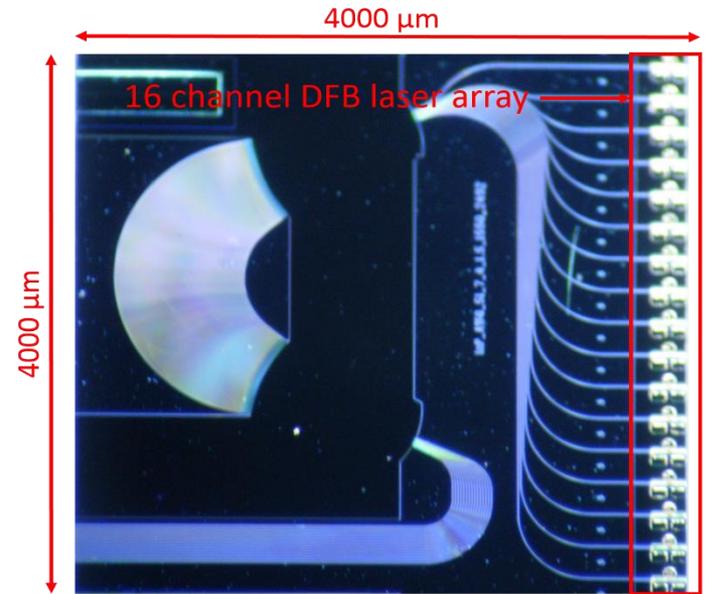


# 基于DFB阵列的集成器件制作

器件实物:



四通道MMI集成DFB激光器阵列

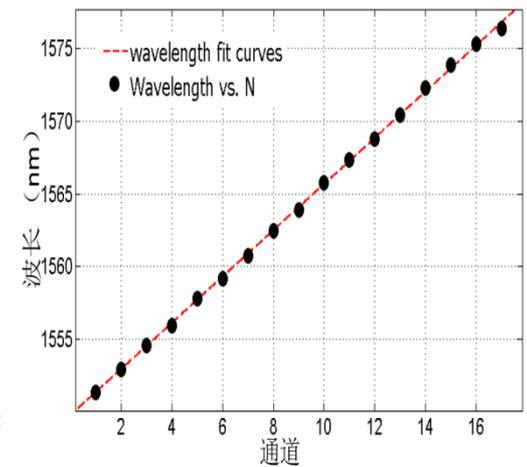
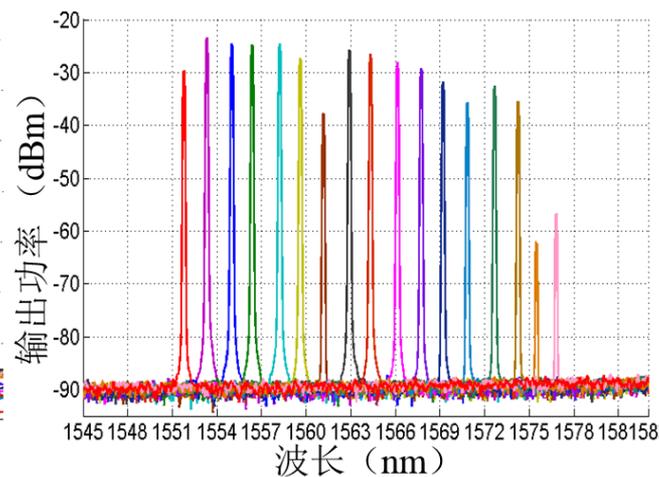
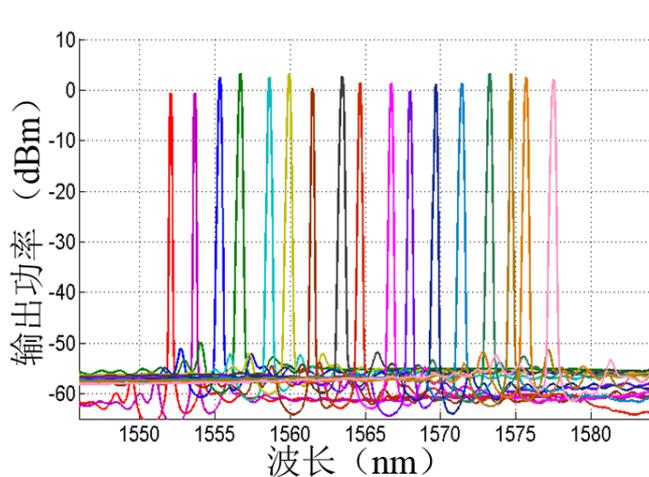
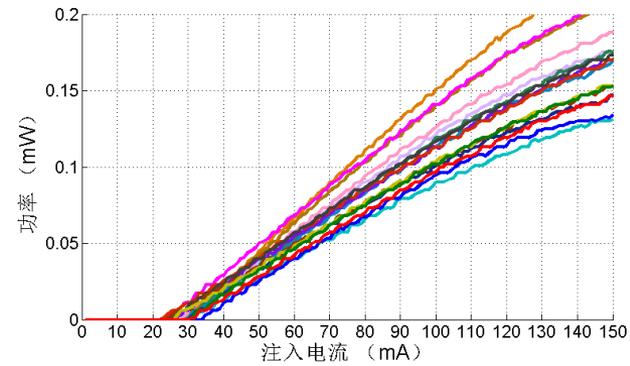
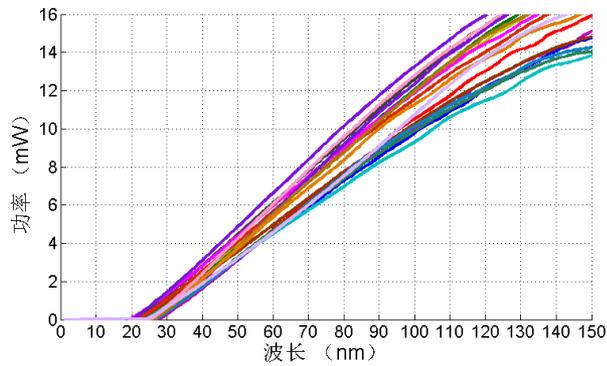


16通道AWG集成DFB激光器阵列



# 基于DFB阵列的集成器件制作

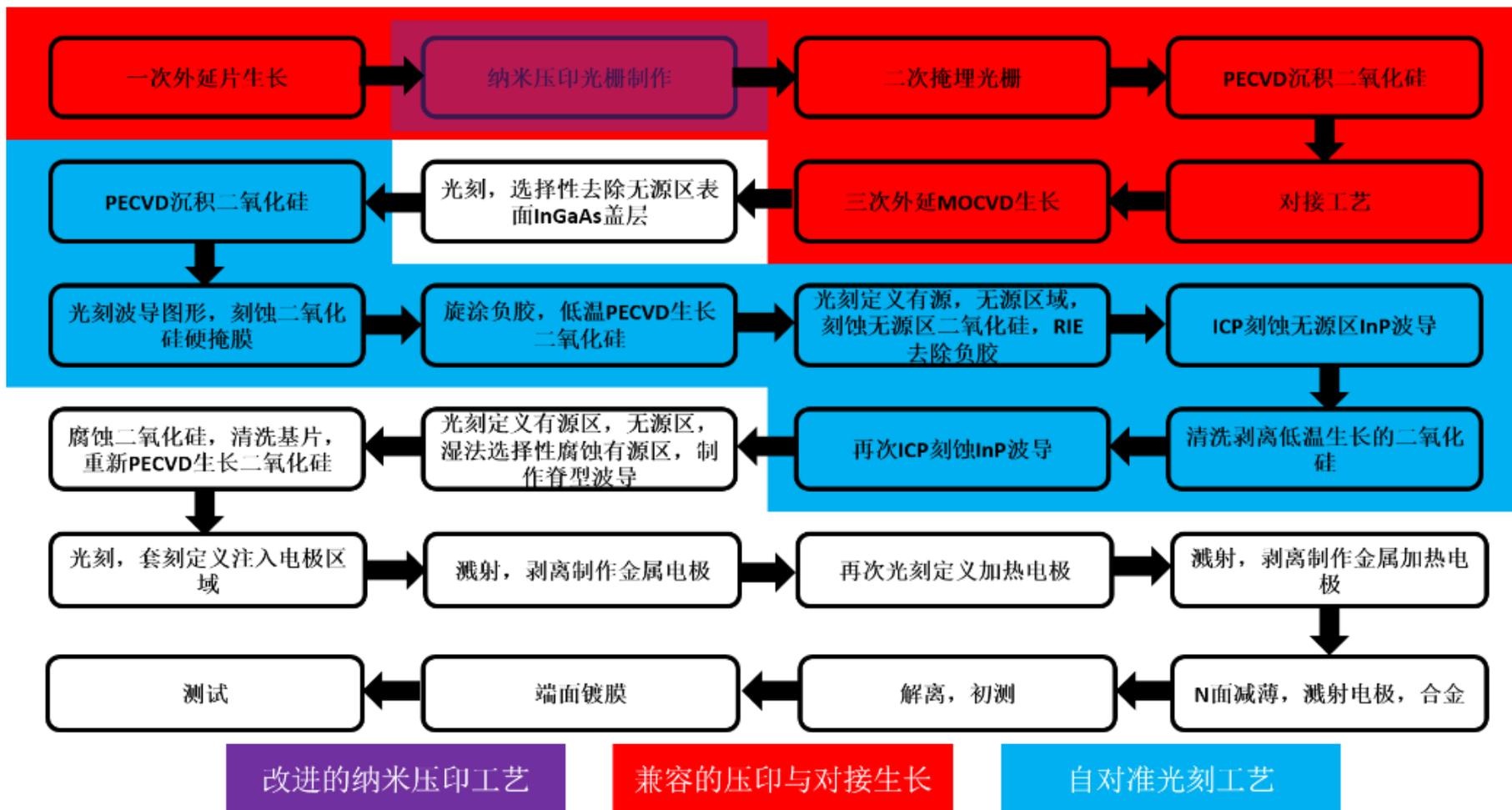
## 器件测试：DFB+AWG





# 基于DFB阵列的集成器件制作

工艺步骤:





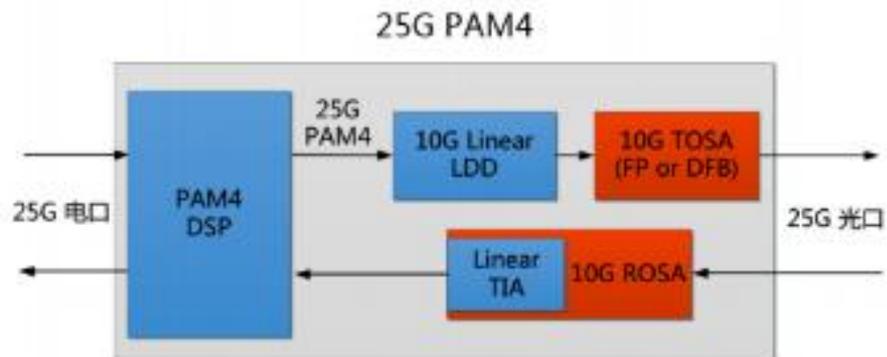
# 5G光传输模块架构比较

	光纤资源	光模块规格	备注
双纤双向	2x	1	需要2倍光纤资源
单纤双向 (WDM方案)	1x	2	需要两种规格模块，组网运维成本很高
单纤双向 (环形器方案)	1x	1	理论上优势，但是实用性极低（链路反射导致串扰）
?	1x	1	有没有一种构架可以兼具上述优点？



# 5G光传输模块架构比较

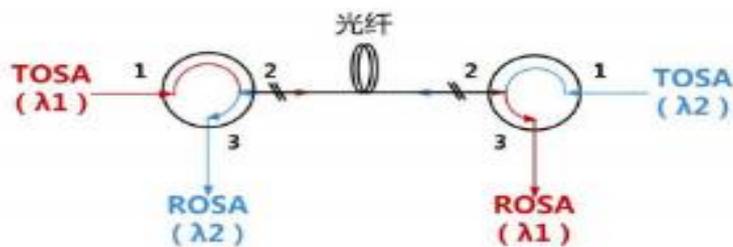
## 双纤双向灰光模块



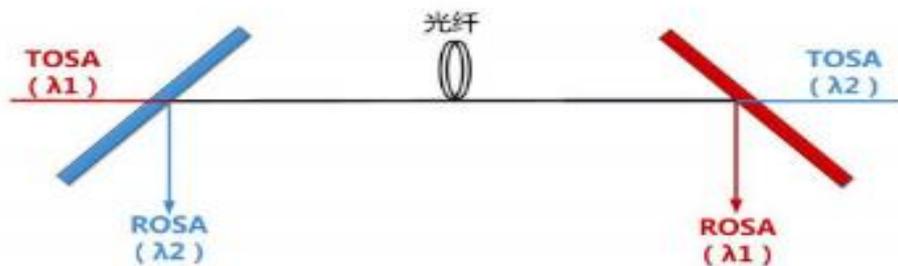


# 5G光传输模块架构比较

## 单纤双向灰光模块



(b) 环形器方案

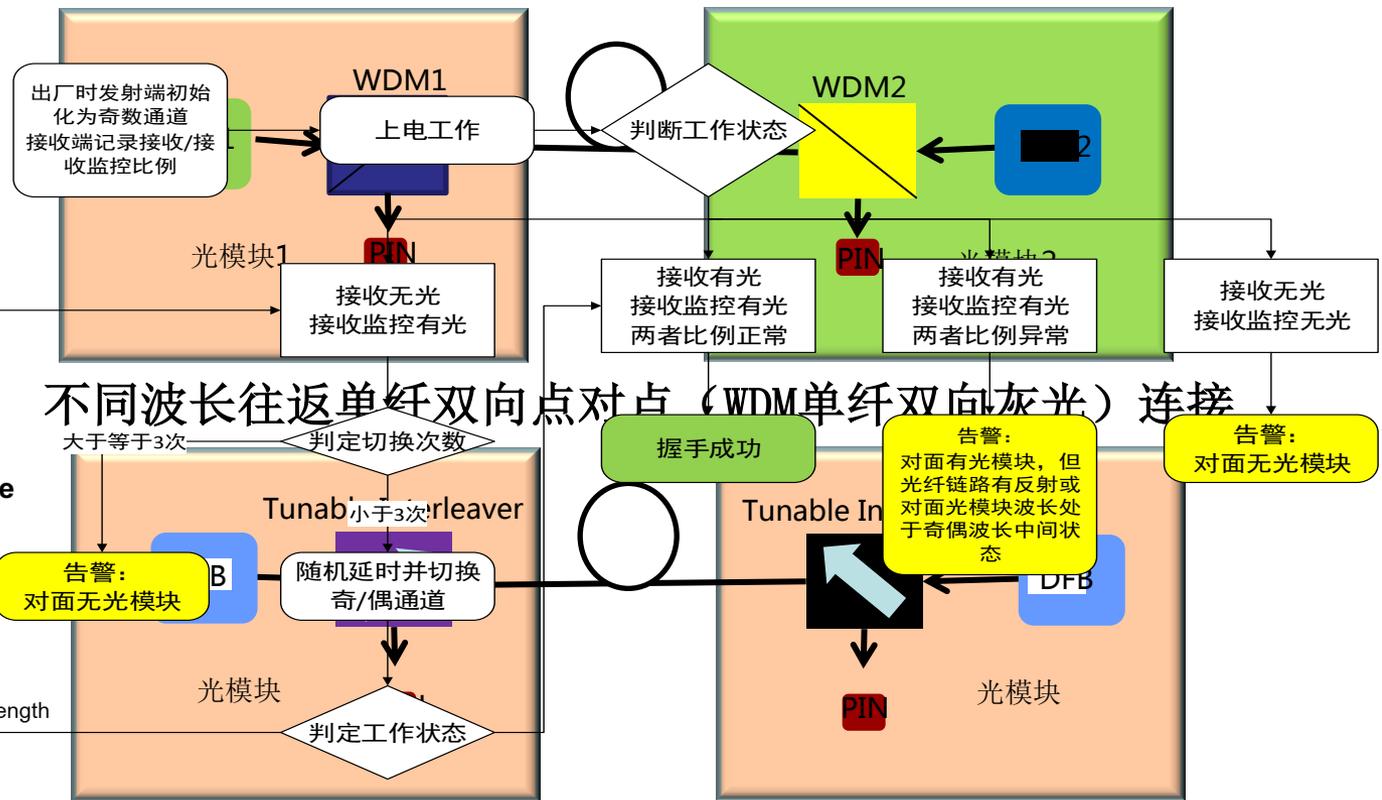
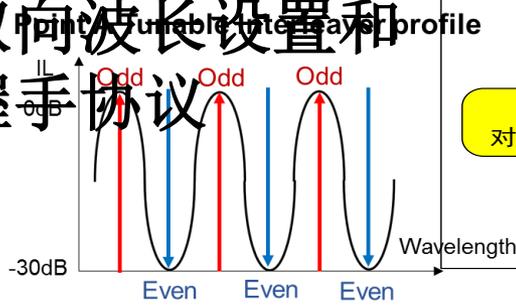


(a) WDM方案



# 一种同波长往返光模块方案

**核心研究内容：**  
 同波长往返单纤  
 双向波长设置和  
 握手协议

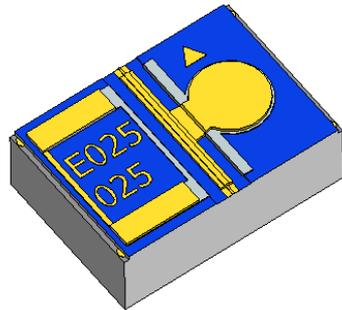
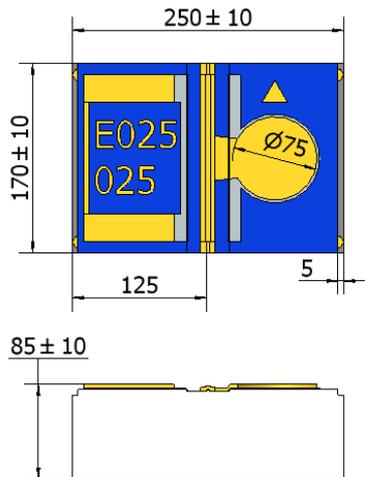
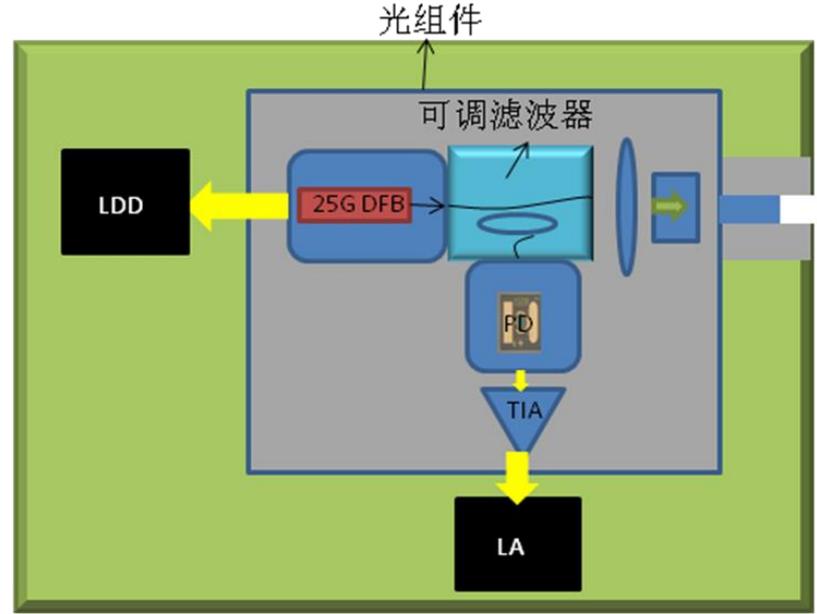


同波长往返单纤双向点对点连接

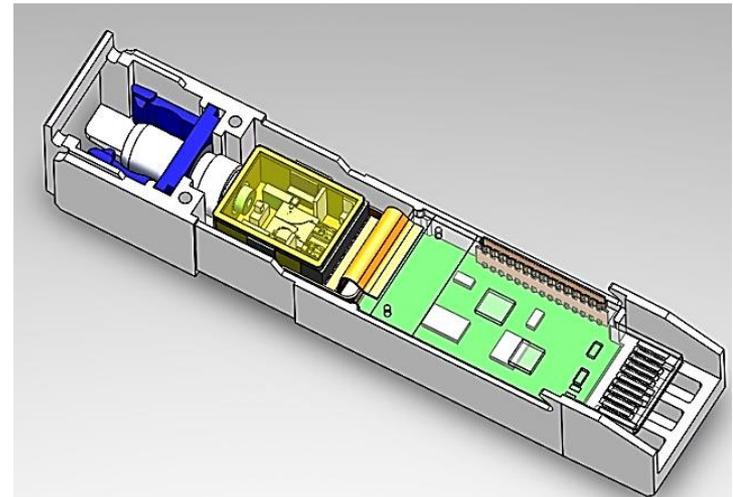


# 25G高速激光器芯片和光收发模研发

- ◆ 宽温，高线性25G高速直接调制激光器芯片
- ◆ 25G宽温光组件封装
- ◆ 25G宽温光模块电路



单位: μm

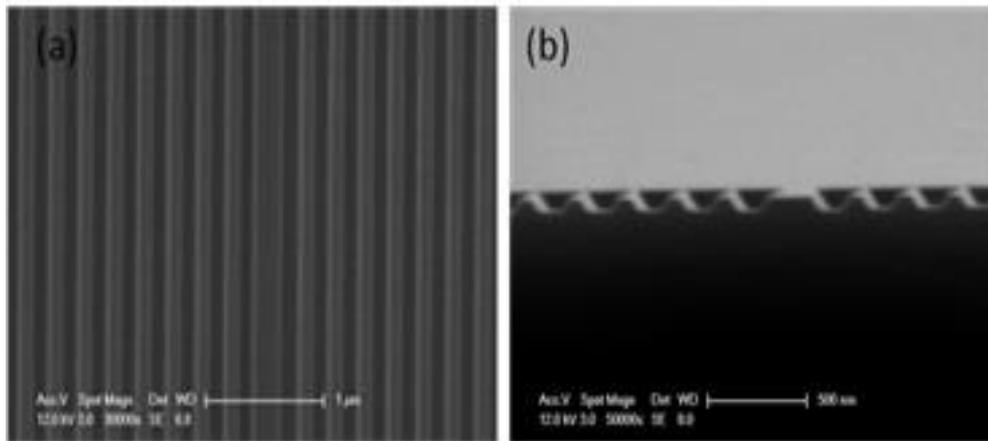




# 宽温、高线性25G高速，直接调制激光器芯片研发



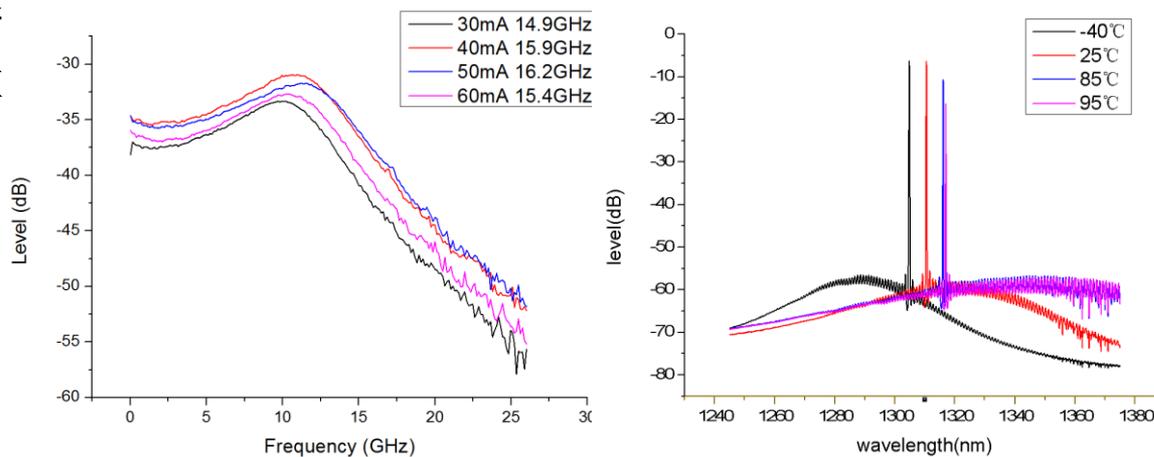
纳米压印技术，  
可低成本实现复  
杂的光栅结构



纳米压印制得的 $\lambda/4$ 相移结构的光栅



通过优化激光器  
参数，目前已实  
现频**>15GHz**，  
工作温度**95度**  
的激光器



直调激光器的频响：带宽已达15GHz以上

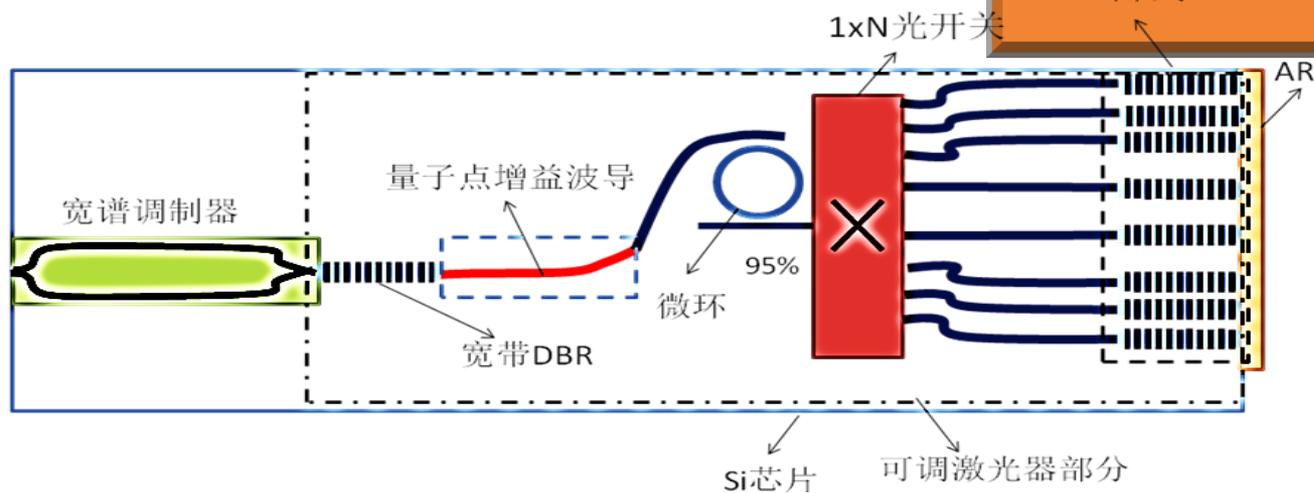
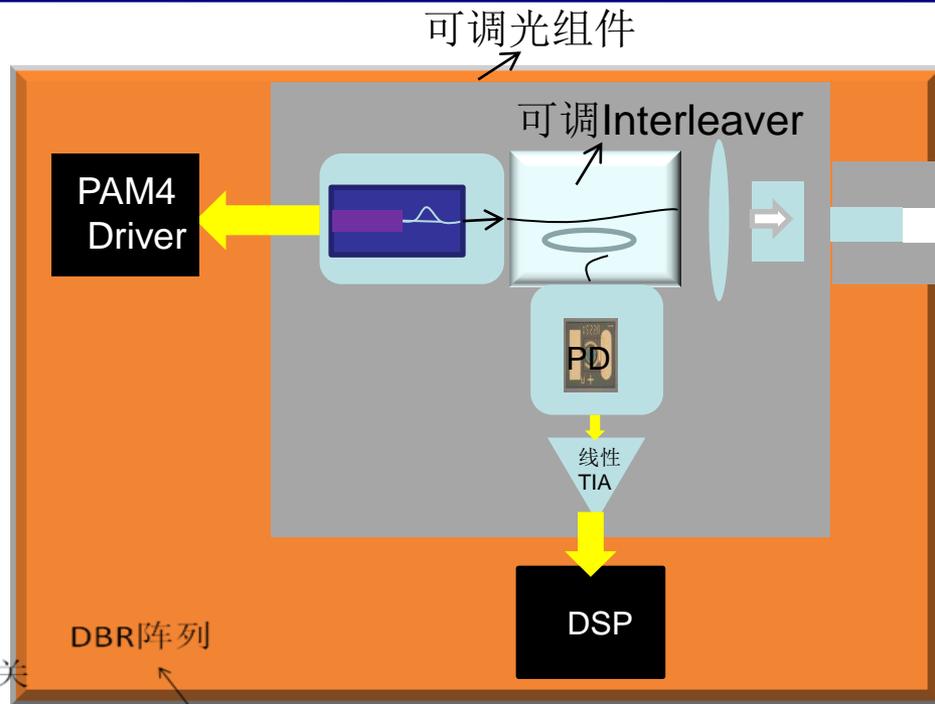


# 50G PAM4可调激光器集成芯片和模块研发

◆ 宽范围可调激光器和集成宽谱调制器

◆ 光发射组件和接收组件封装

◆ 可调收发光模块电路

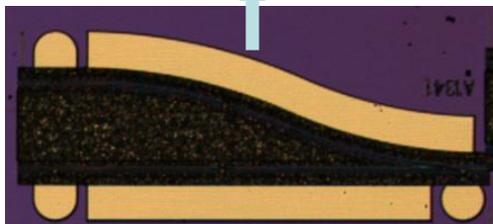
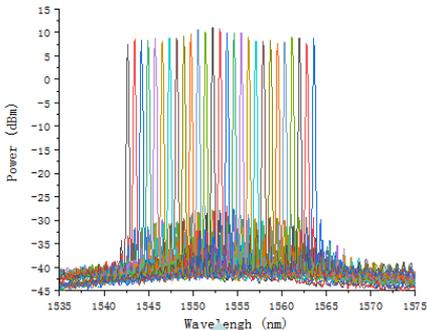




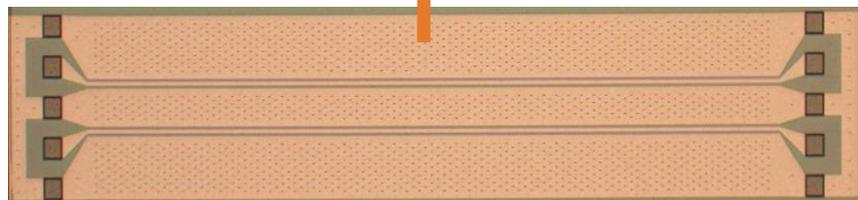
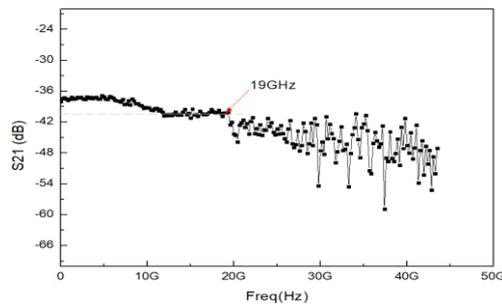
# 宽范围可调激光器和集成宽谱调制器研发

解决硅光集成的光源集成问题，大大降低可调激光器成本

硅基量子点激光器及其光谱



硅调制器及其频率响应



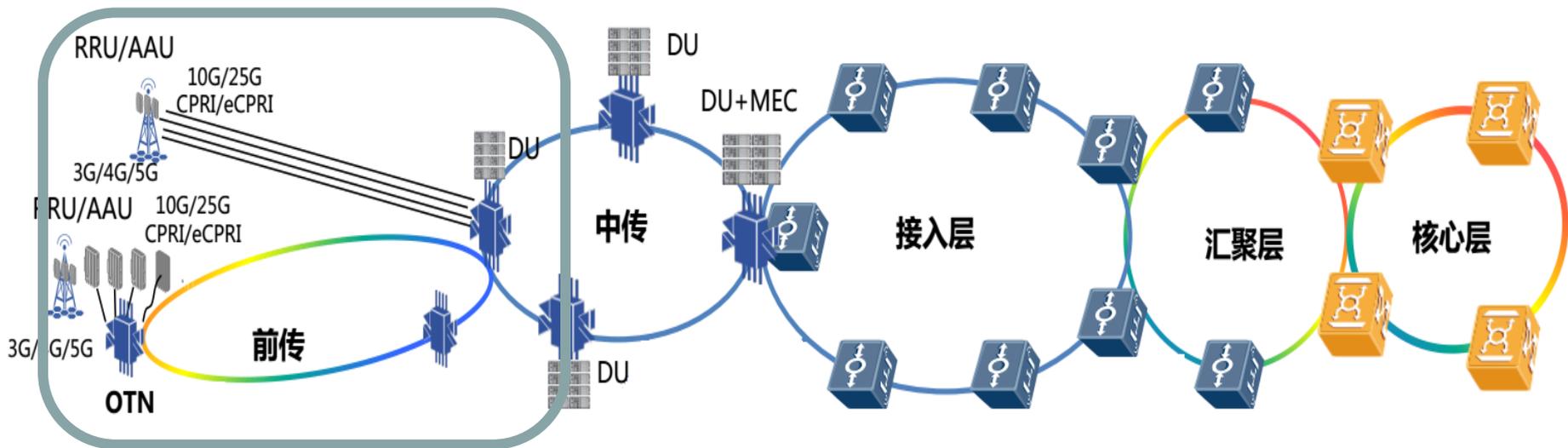
增益区

调制区



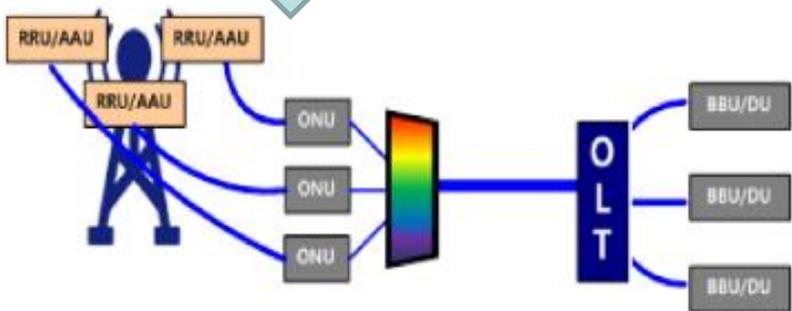


# 可调谐激光器和宽谱强度调制器集成



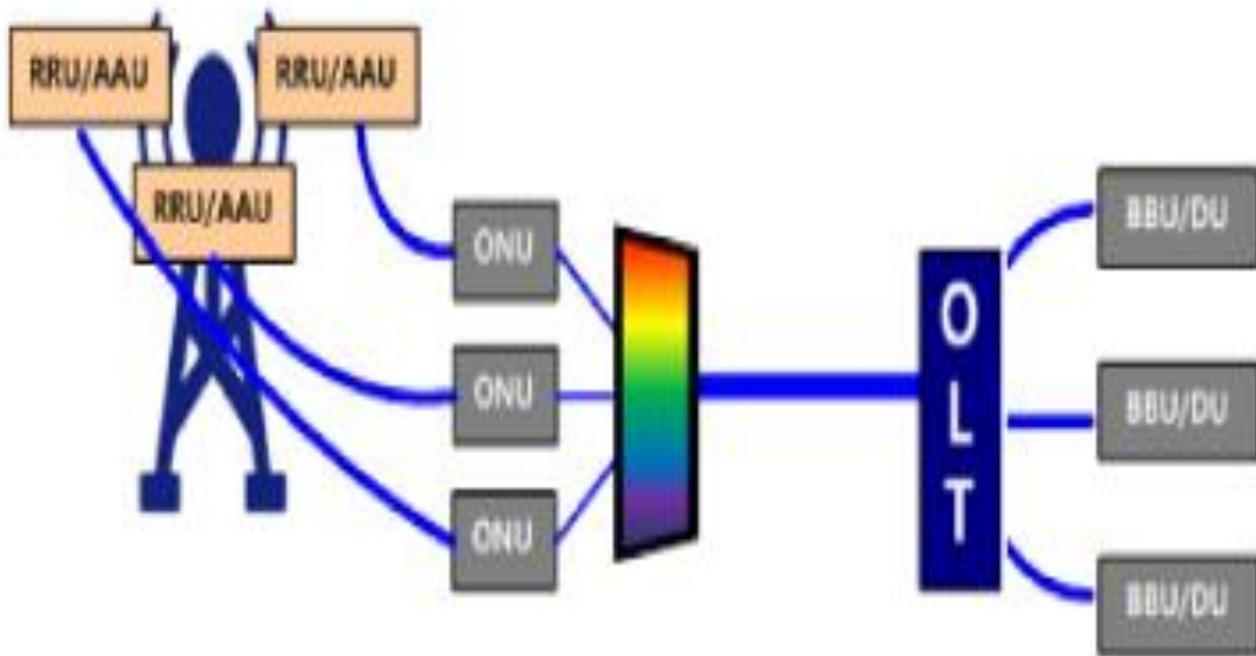
## 5G前传彩光Tunable 25G模块需求:

- 低成本
- 工业温度可靠性
- 可调谐激光器和宽谱强度调制器集成





# WDM-PON 前传方案

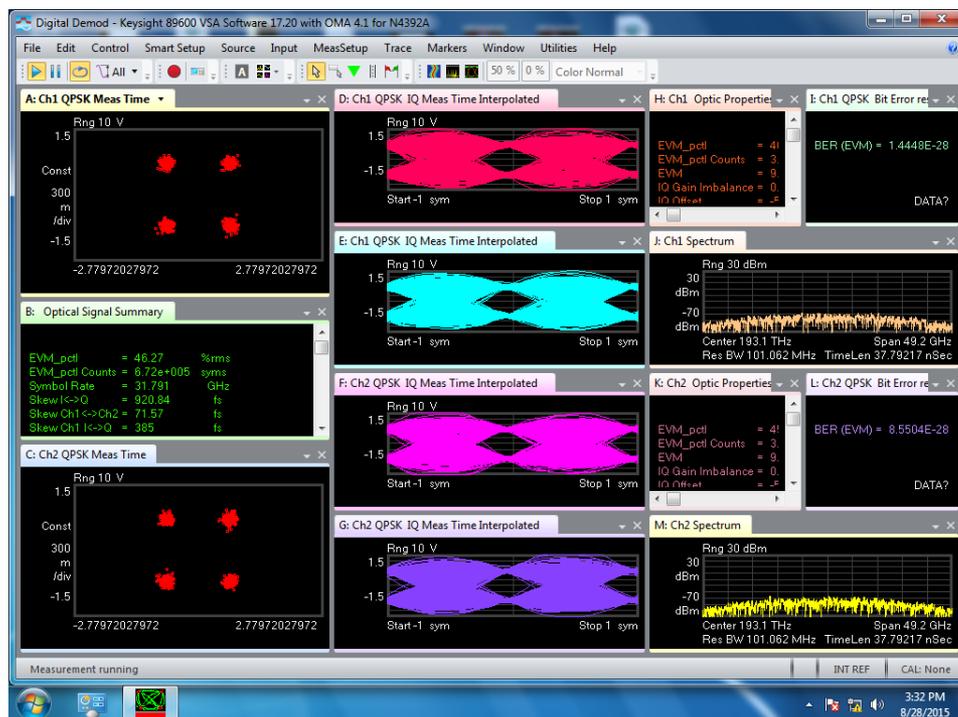


硅光技术基于**CMOS**工艺，具有低成本，温度可靠性高的优点  
可调谐激光器+硅光调制器是非常有希望的解决方案



# 国产PAM4光收发驱动集成电路芯片研发

Company Parameter	收发芯片
Max. Support Data rates [Gb/s]	28
Max Differential transimpedance Gain [kΩ]	3.5
3dB Transimpedance Bandwidth [GHz]	22
Differential Input AC current [mApp]	0.1 to 1
Total harmonic distortion[%]	4
Output amplitude [mVpp](Differential)	300 to 850
Supply voltage [V]	3.3

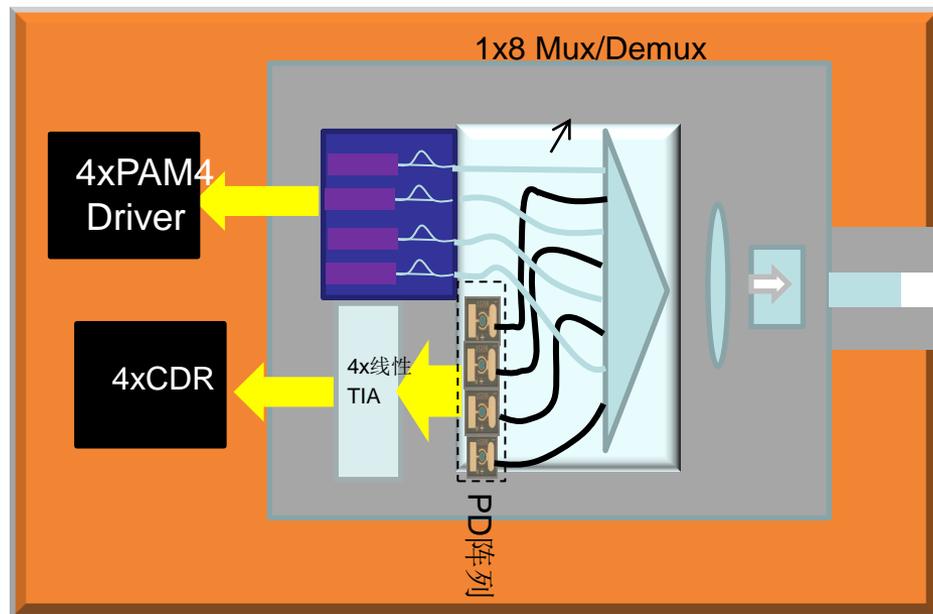


前期高速收发芯片研究基本指标测试结果，以及用于NRZ相干光通信系统的星座图测试结果。



# 4×50G PAM4 光集成收发芯片和模块研发

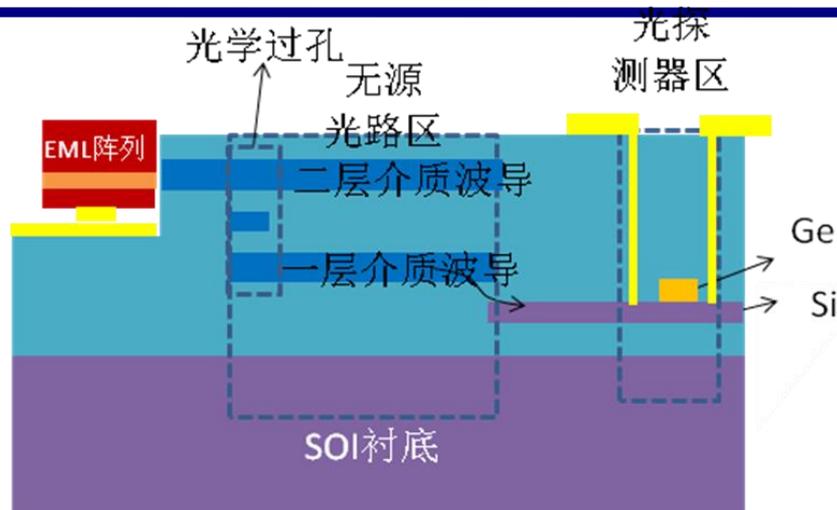
- ◆ 高线性4波电吸收调制激光器阵列芯片
- ◆ 密集波分复用和解复与PD接收阵列集成芯片
- ◆ 光收发组件封装
- ◆ 光模块电路





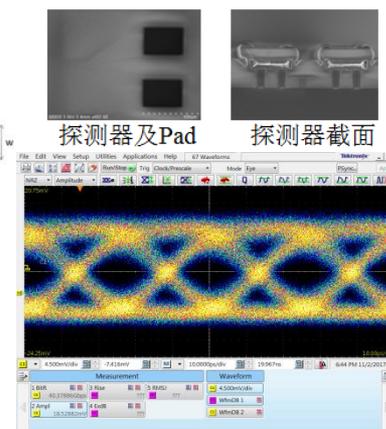
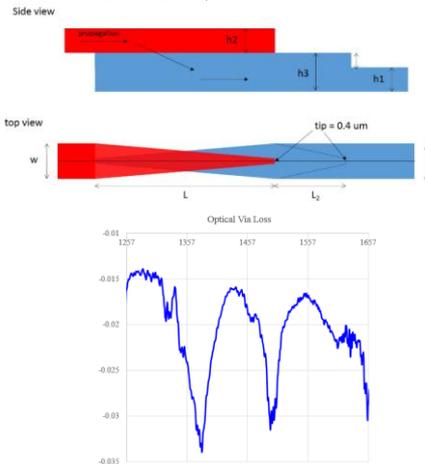
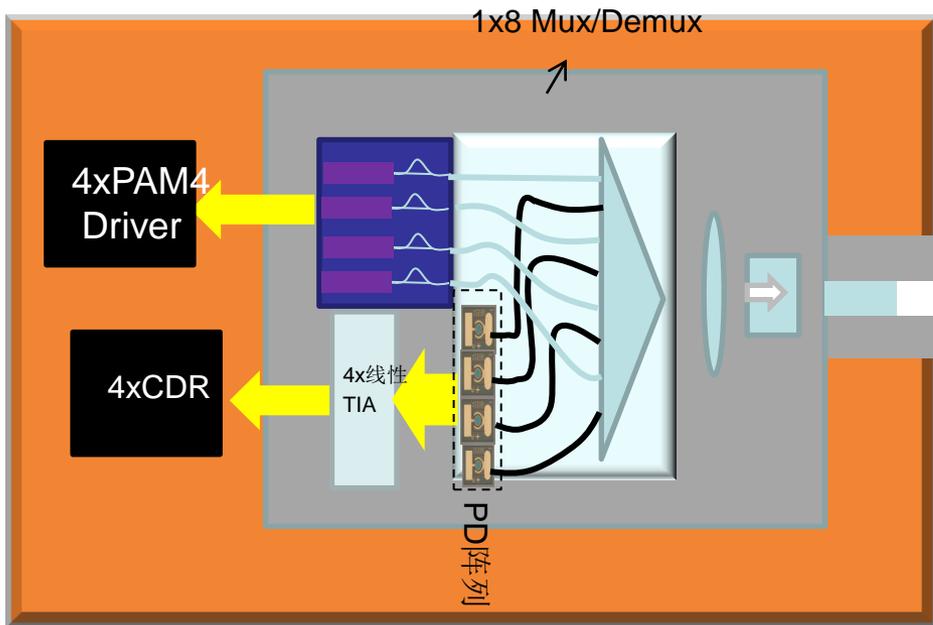
# 密集波分复用解复用与PD接收阵列集成芯片

- 通过光学过孔技术，可避免平面波导交叉，减小损耗和串扰
- 基于XIOPM-GLASS的高性能无源波导，解决硅基无源器件性能问题



双层波导光学过孔及损耗测试

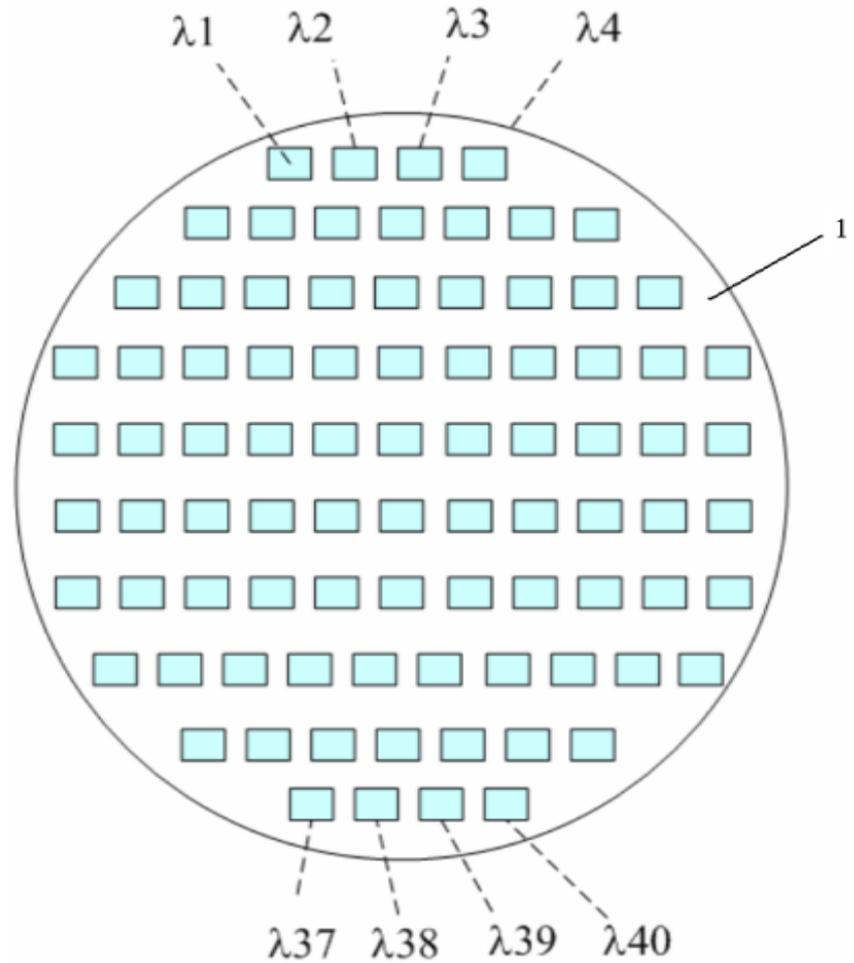
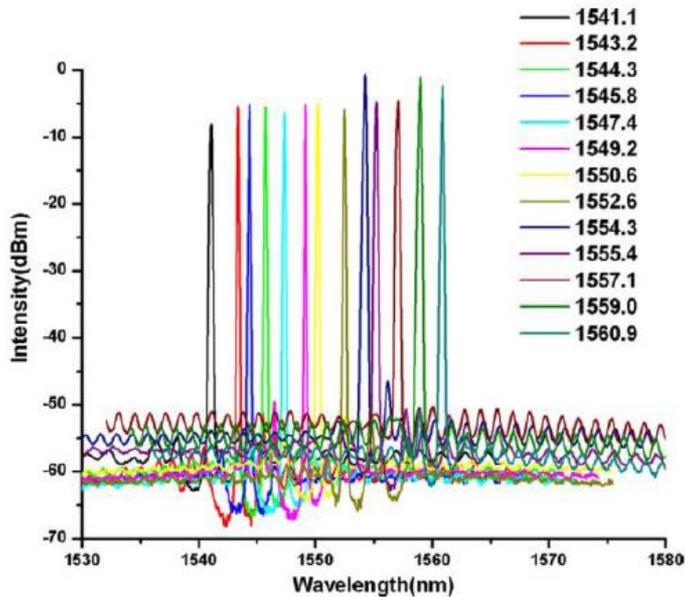
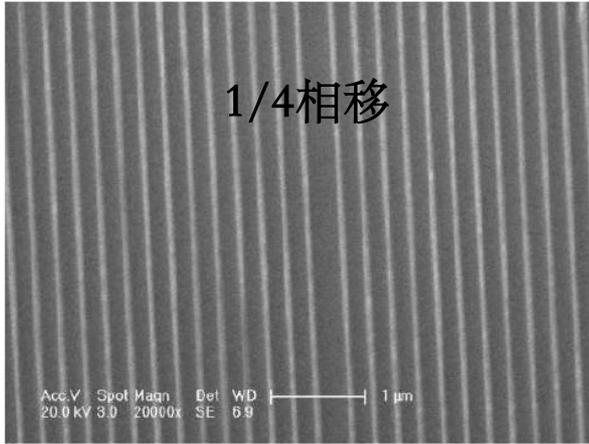
探测器及40Gbps眼图







# 纳米压印制作DFB激光器





# 英国启动高速分布式反馈激光器生产项目

2017-08-23 11:15 来源：OFweek 激光网

分享 [加入自媒体](#) [纠错](#) [订阅](#)

**导读：** 据外媒报道，英国III-V代工厂CST Global公司目前正在领导由英国政府资助的旨在生产高速分布式反馈激光器的项目。

OFweek [激光网](#)讯：据外媒报道，英国III-V代工厂CST Global公司目前正在领导由英国政府资助的旨在生产高速分布式反馈[激光器](#)的项目；由于采用了新制造工艺，其宽带线路速率明显高于现有激光器，而且新激光器成本也降低了三分之一。

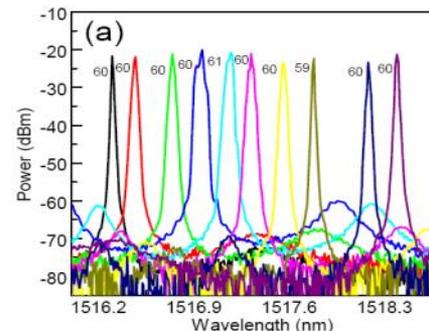
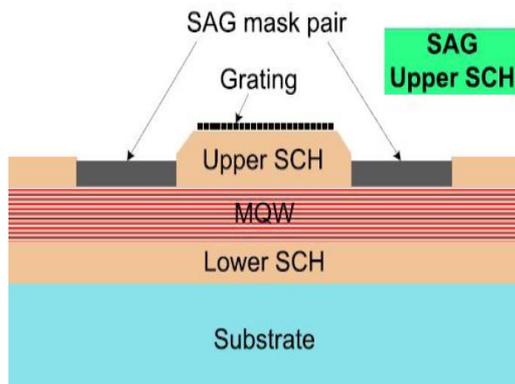
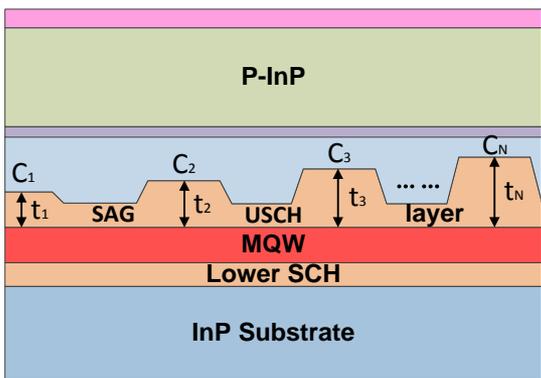
该名为“使用纳米压印光刻的二极管激光器制造工艺”（DILAN）的项目旨在实施商业可行的纳米压印光刻生产工艺，可提供25 Gbps的数据速率以及高达30%的成本节省。

由英国创新署（Innovate UK）分发的项目拨款总额高达8.21亿英镑（11亿美元），其中CST Global获得了2.68亿英镑（3.45亿美元）的资助。

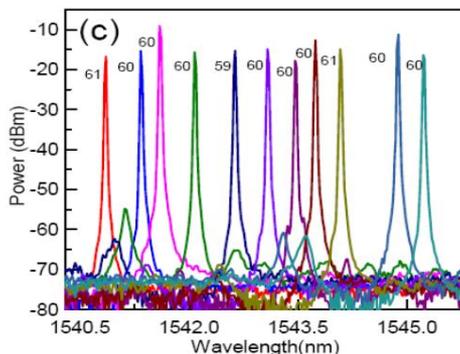
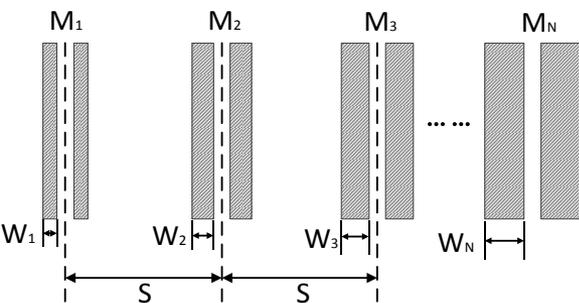


# 选区外延上限制层波长控制技术

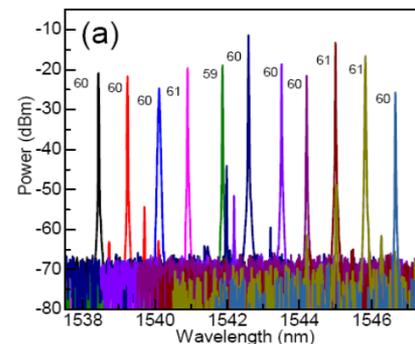
开发的拥有自主知识产权的关键单片集成技术  
 波长控制技术



25GHz



50GHz



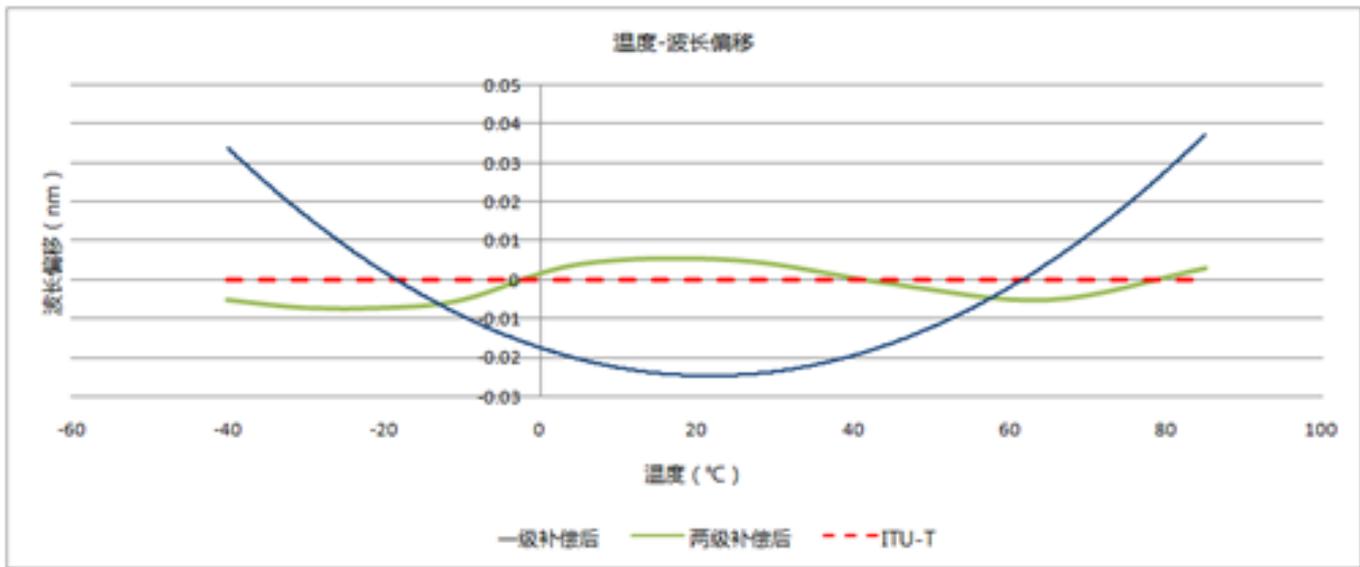
100GHz

选区外延上限制层波长控制技术

中国专利: ZL 201210319231.X 201310230999.4  
 美国专利: US20140065748 A1.



# AAWG研究基础



## 二级补偿后波长精度明显改善

在5G前传覆盖范围规划中，要求无中继的传输距离要满足20km，这样给AAWG的规模应用带来极大的挑战，要求更小插入损耗，更小的波长漂移，更宽的工作温度范围和更高的可靠性。常规AWG芯片的材质为硅基二氧化硅，典型的温度系数为11pm/°C，在-40°C到85°C工作温度范围内波长偏漂移能达到1300pm，通常的做法是采用一级补偿技术，但全温范围内的波长漂移偏移仍然达到60pm，光学性能明显劣化，应用场景受限。如若采用二级补偿技术，则波长总偏移量可控制在30pm，而且不引入额外的插入损耗。从而能够实现5G移动前传无电中继下的规模部署。

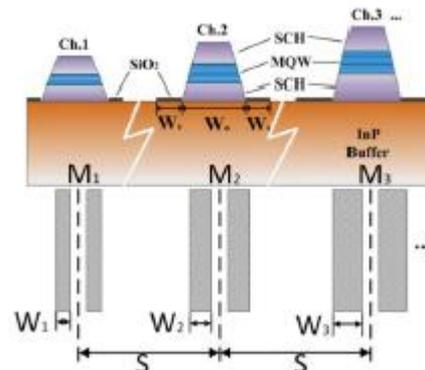


# 4×50G PAM4 光集成收发芯片和模块

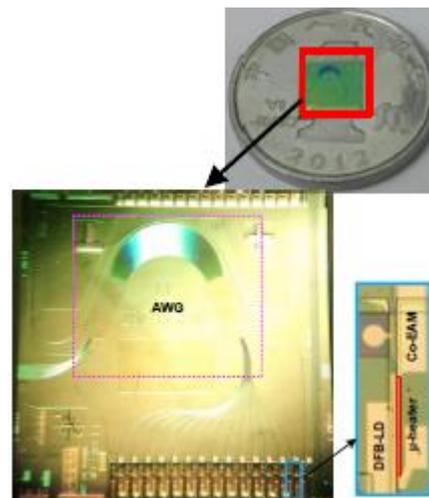
传统方法通过电子束曝光，精度需要达到0.01nm才能达到要求

选区外延精确控制折射率，从而精确控制阵列激光器波长

通过选区外延技术精确控制带隙和波长

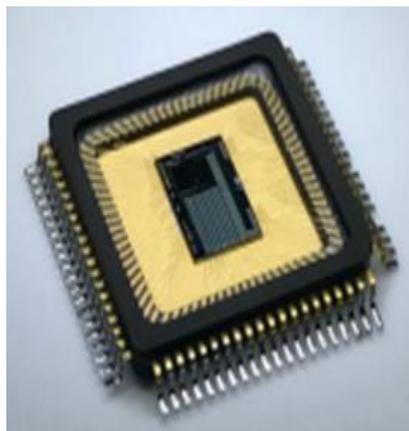
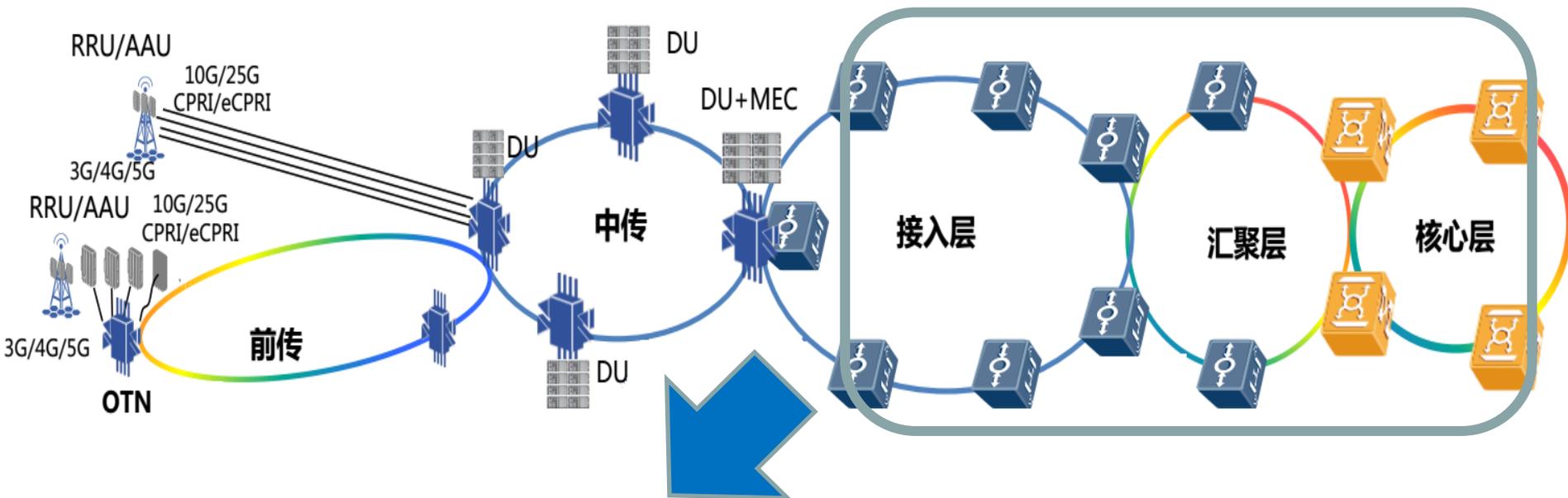


采用该技术制作的10G x10 DWDM EML阵列芯片与AWG单片集成





# 硅光相干光模块



100G 硅光芯片

100km~600km中后传距离，需要大量的100G/400G相干光收发模块

随着器件成本的降低和DSP功耗的下降，相干技术将向<100km的距离下沉

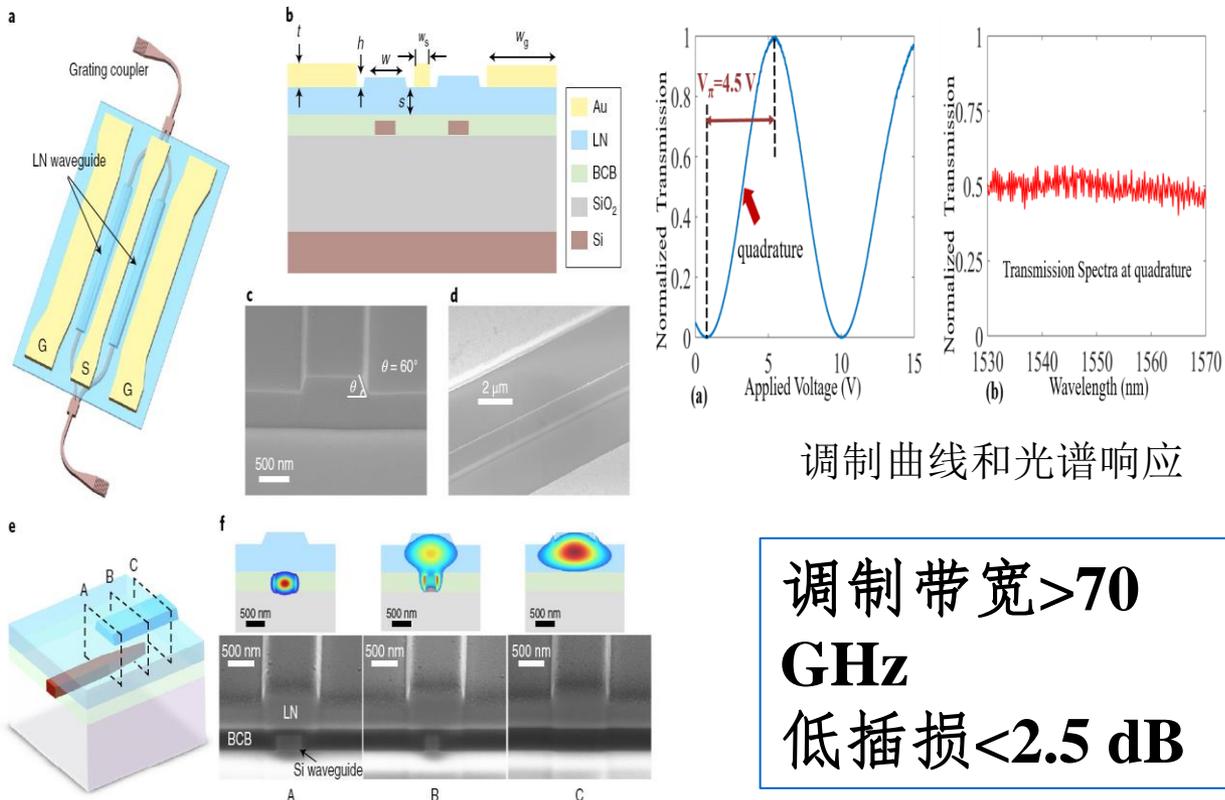
硅光将相干光模块中除了ITLA以外的器件全部集成到单个芯片上

可以降低封装成本和封装尺寸



# LNOI研究进展

中山大学-2019年3月份发表于《Nature Photonics》



调制曲线和光谱响应

调制带宽 > 70 GHz  
低插损 < 2.5 dB

硅上铌酸锂薄膜调制器的显微照片和SEM截面

硅基光电子集成领域，以中国大陆为第一单位发表在Nature Photonics上的第一篇学术论文。



# 面发射激光器

**Vertical Cavity Surface Emitting Laser**



## VCSEL 的优点

- 易于实现二维平面和光电集成；
- 圆形光束易于实现与光纤的有效耦合；
- 有源区尺寸极小，可实现高封装密度和低阈值电流；
- 芯片生长后无须解理、封装即可进行在片实验；
- 在很宽的温度和电流范围内都以单纵模工作；
- 成品率高、价格低。



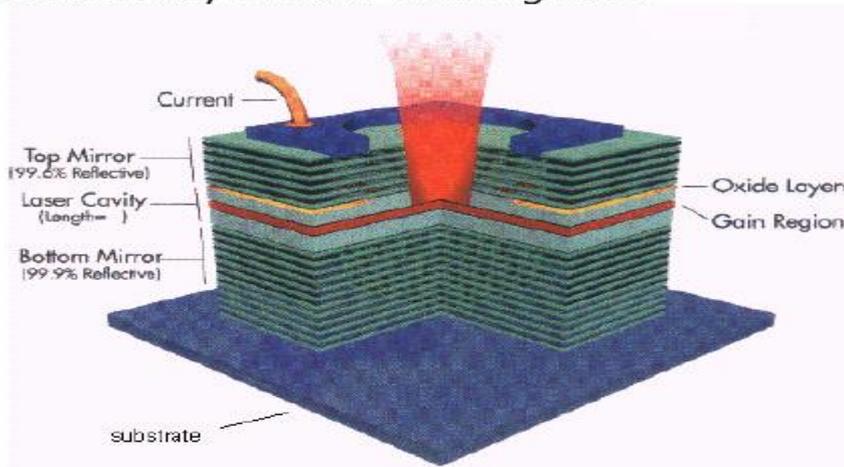
## Outline

- What is VCSEL
- Different from Edge Emitting Laser
- Structure of VCSEL
- DBR
- Long Wavelength VCSEL
- Applications



# VCSEL

- What does VCSEL stand for?
  - Vertical Cavity Surface Emitting Laser

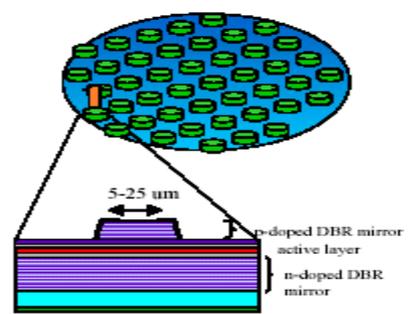




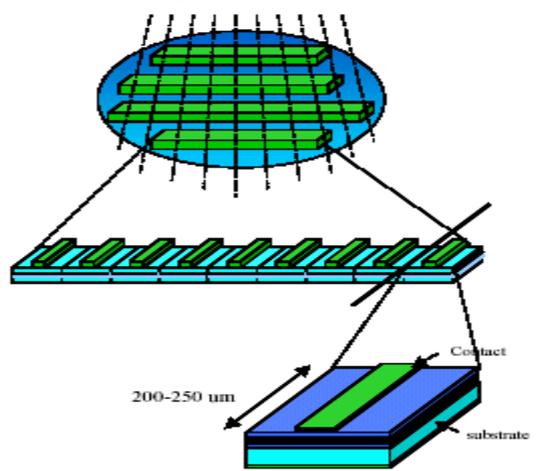
# VCSEL and Edge-Emitted Laser

from wafer to single devices

### VCSELs

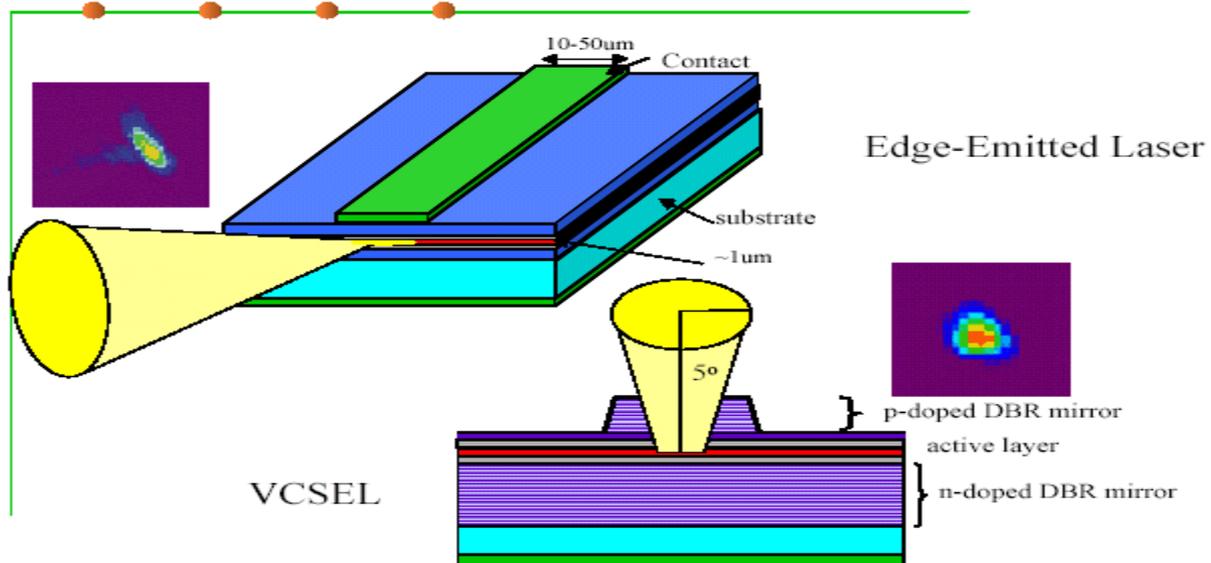


### Edge-emitted Lasers



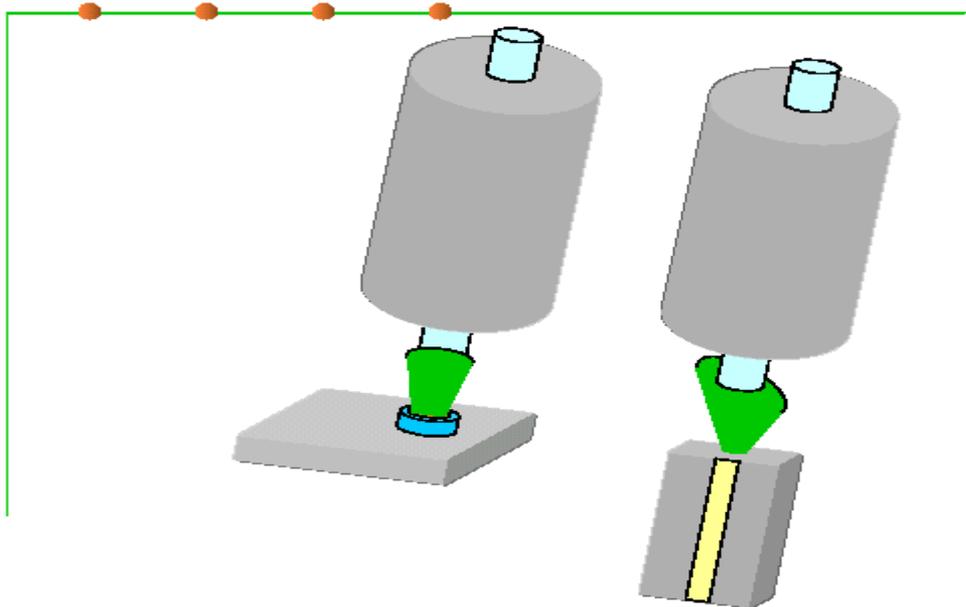


## VCSEL vs. Edge-emitted Laser



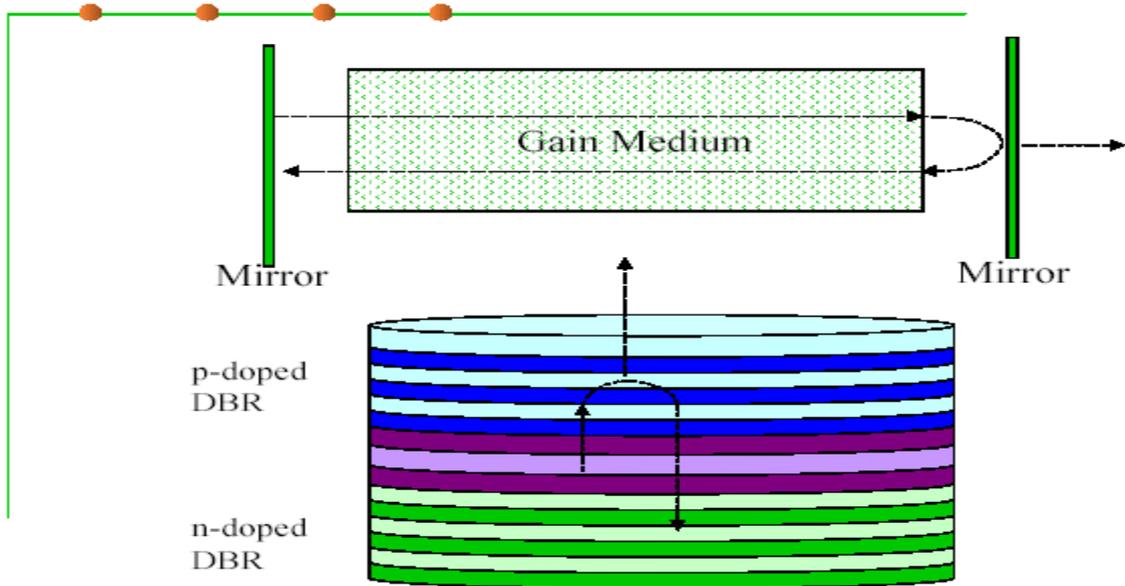


## Beam-output comparison





# How does it work?

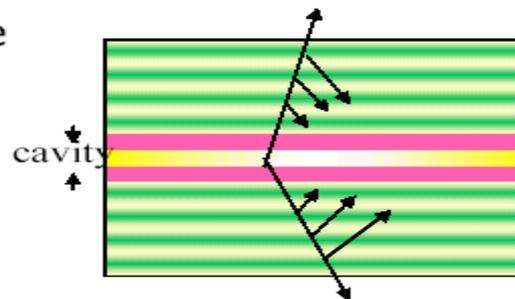


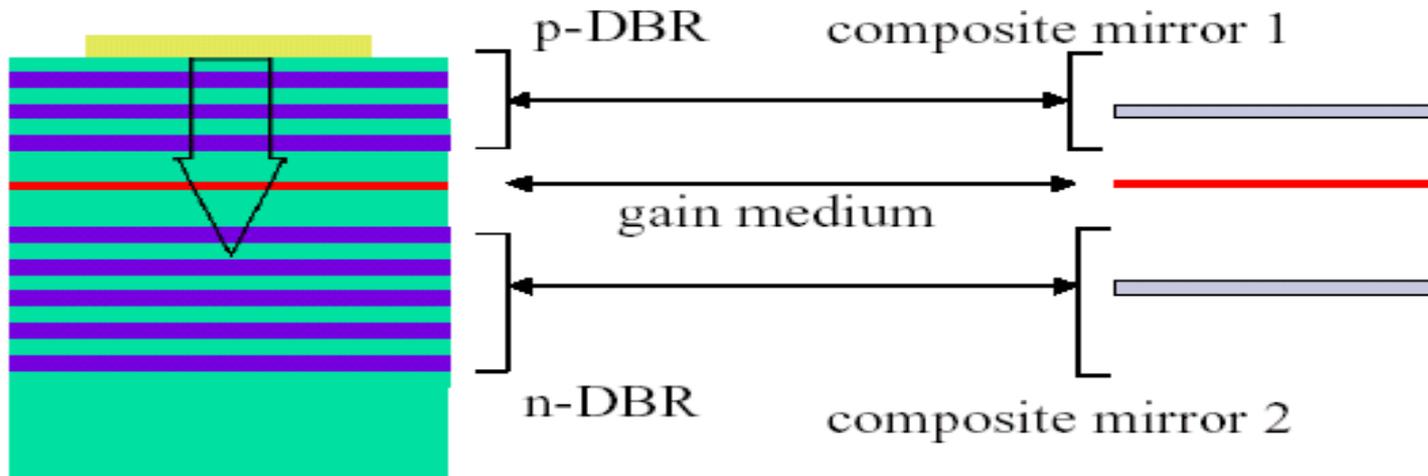


## DBR structure design

### ■ Requirement

- high reflectivity
- high reflective index contract
- Compatible with the quantum layer
- good electrical conductivity
- low thermal resistance





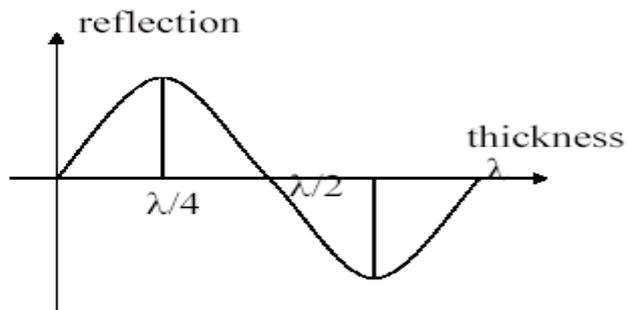
(DBR = distributed Bragg reflector)

- VCSEL = gain + mirrors for feedback



## Calculating the Layer Thickness

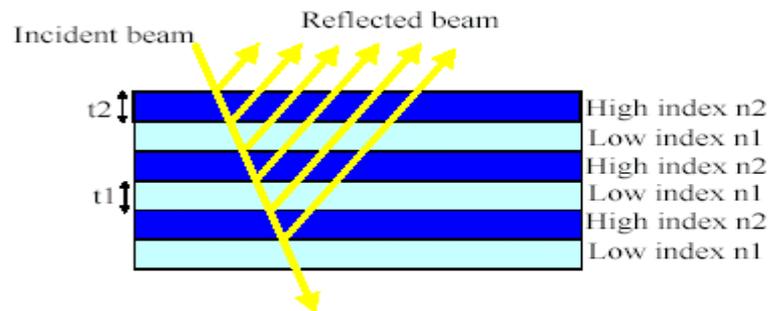
- Maxima or minima in the reflected intensity occur at specific film thickness
- The dielectric layered structure that consists of alternating quarter-wave layers of two different materials is the simplest way of achieving high reflectance



$$nt = \frac{1}{4}\lambda$$



## Example



$$n_1 t_1 = \frac{1}{4} \lambda \quad n_2 t_2 = \frac{1}{4} \lambda$$



## Example

$n_1$ : 3.53 for GaAs

$n_2=2.91$  for AlAs

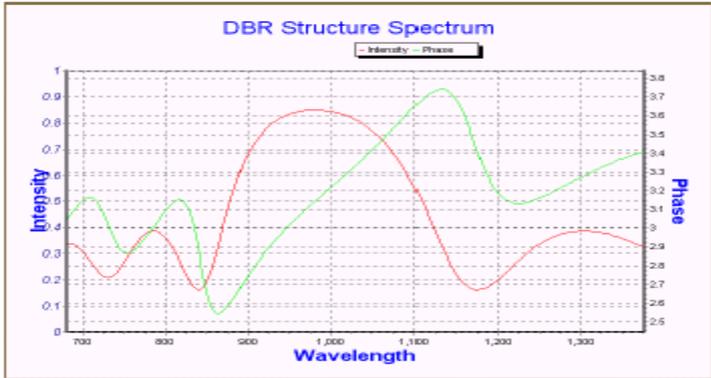
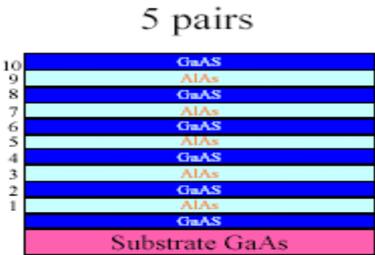
$\lambda=980\text{nm}$

$$nt = \frac{1}{4}\lambda \quad t_1 = 69.4\text{nm}$$
$$t_2 = 84.2\text{nm}$$





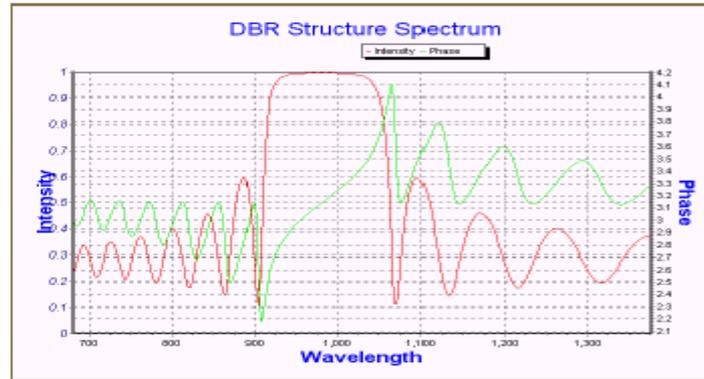
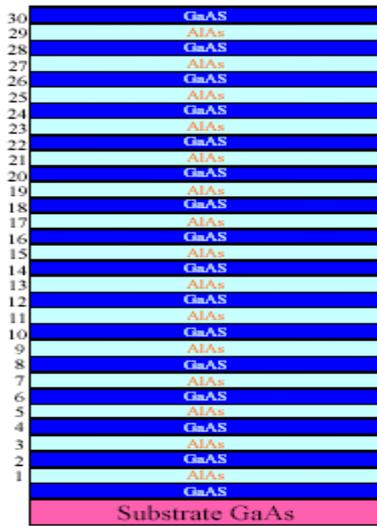
# Example





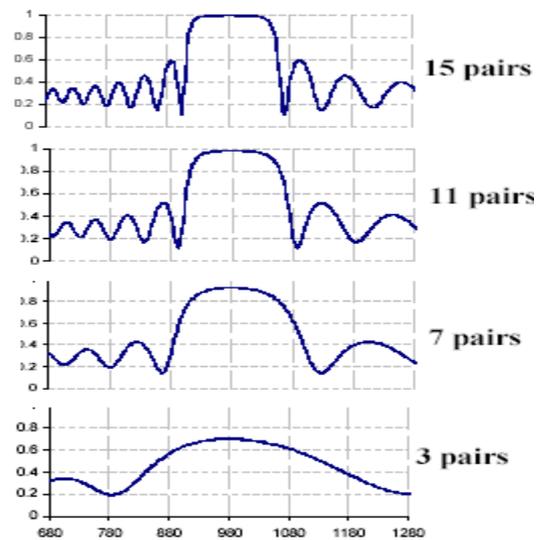
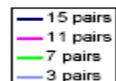
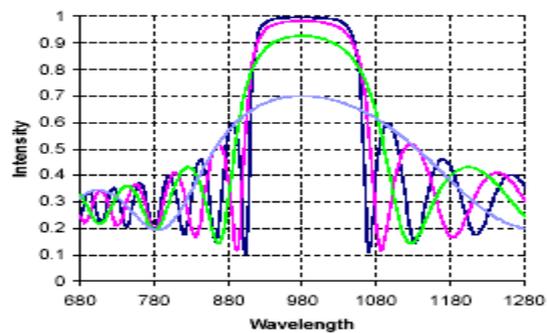
# Effect on number of pairs

15 pairs





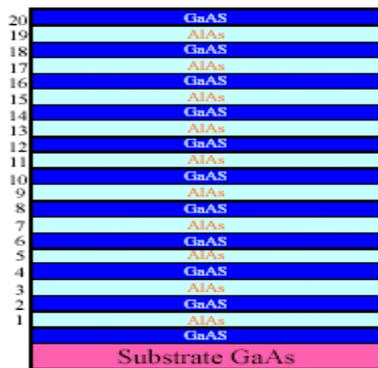
## Reflectance Spectra



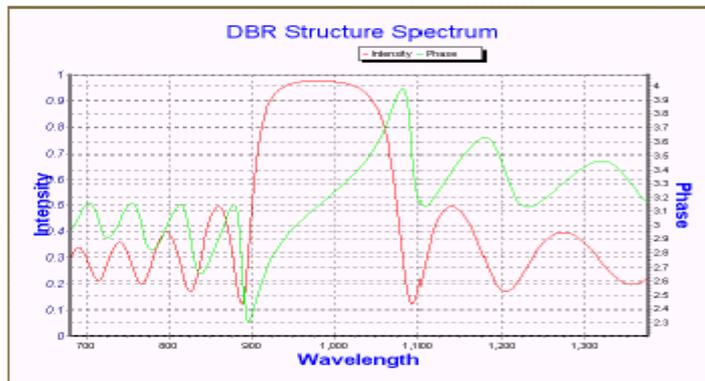


# Effect of whole and half integer pair

10 pairs

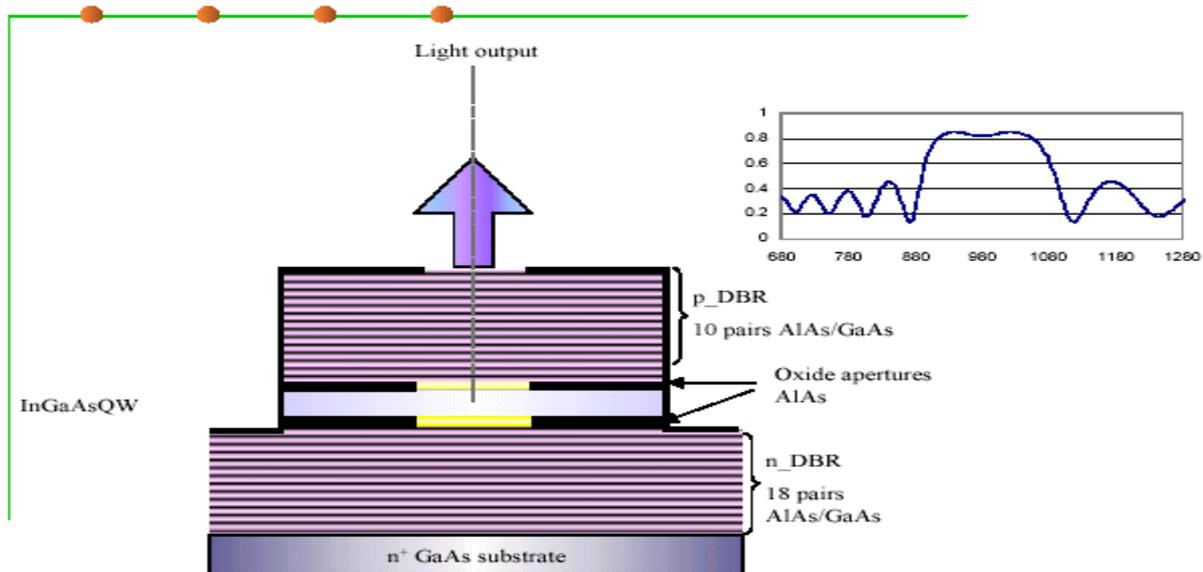


Bottom DBR



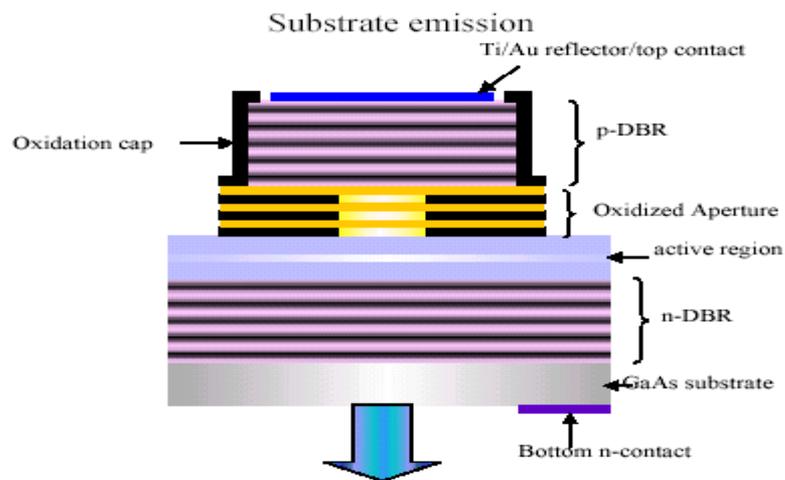


## The structure of VCSEL





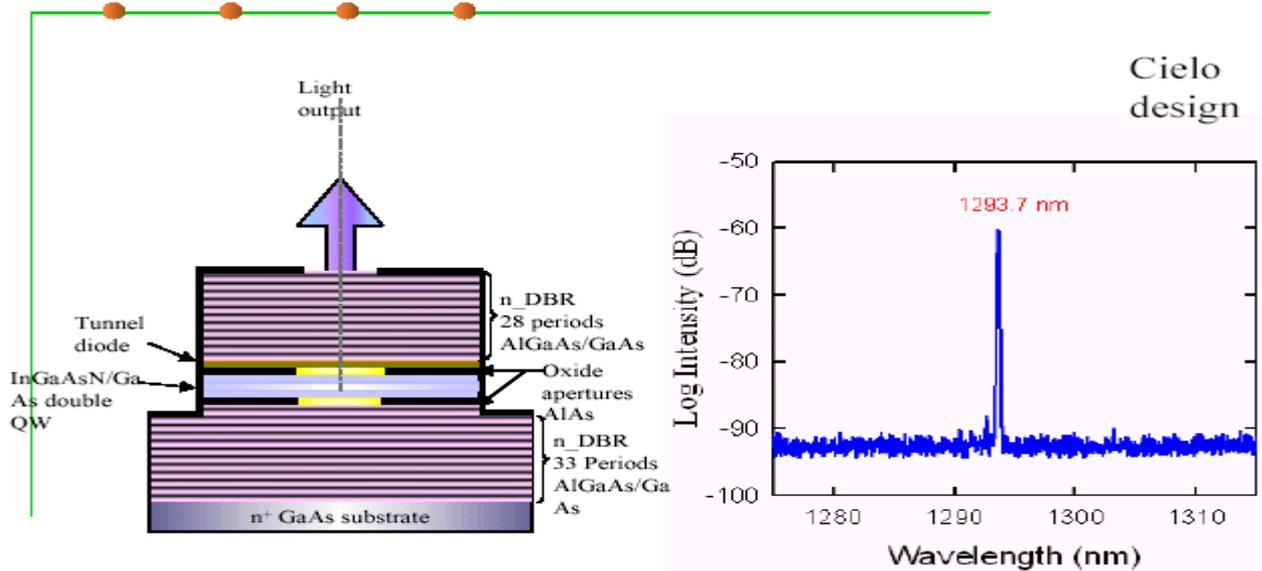
## Structure of VCSEL



Stanford  
design



# The structure of VCSEL



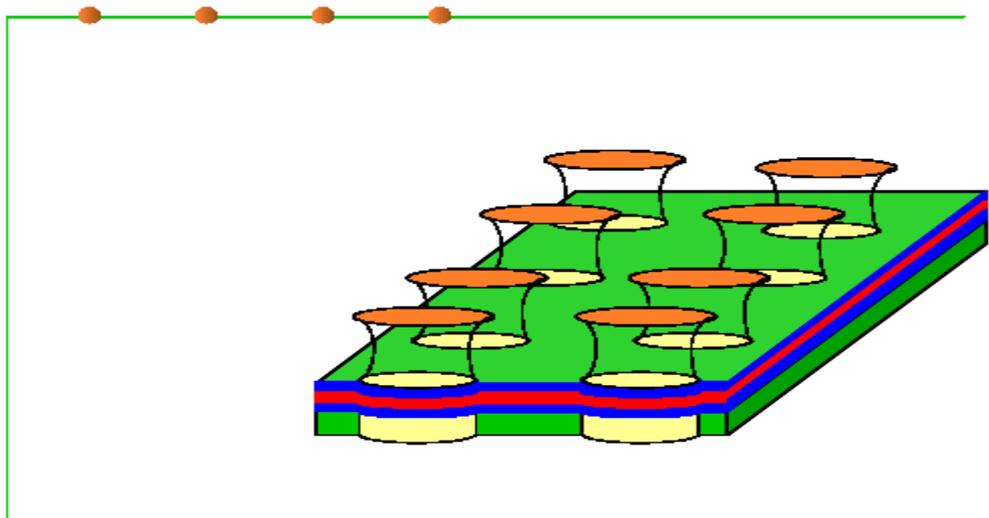


## Approaches for long wavelength VCSEL

Wavelength	Active/DBR Materials	Comment
1310 nm	GaInAsP/AlGaInAsP on InP	Monolithic DBR have low index contrast—need many periods Low modal gain from quantum well
	GaInAsP/AlGaAs (wafer bond)	Excess voltage?
	GaInAsN/AlGaAs	Material gain : As N increases, radiative efficiency decreases
	InAs quantum dots	Sufficient material gain?
1550nm	GaInAsP/AlGaInAsP on InP	Monolithic DBR have low index contrast—need many periods Low modal gain from quantum well
	GaInAsP/AlGaAsSb on InP	Extremely reactive Sb-containing DBRs.
	InGaAsN/AlGaAs	Sufficient gain at long wavelength?
	InAs quantum dots	Sufficient gain at long wavelength?

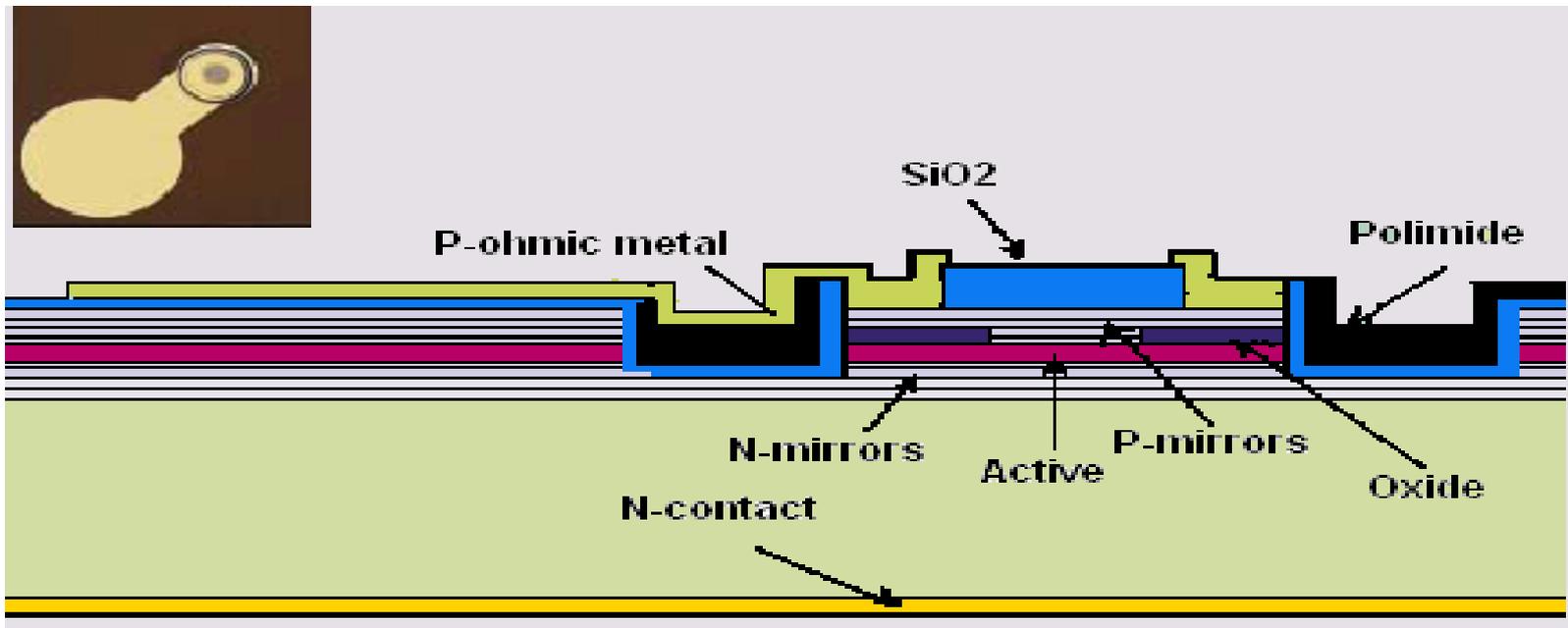


## VCSEL arrays





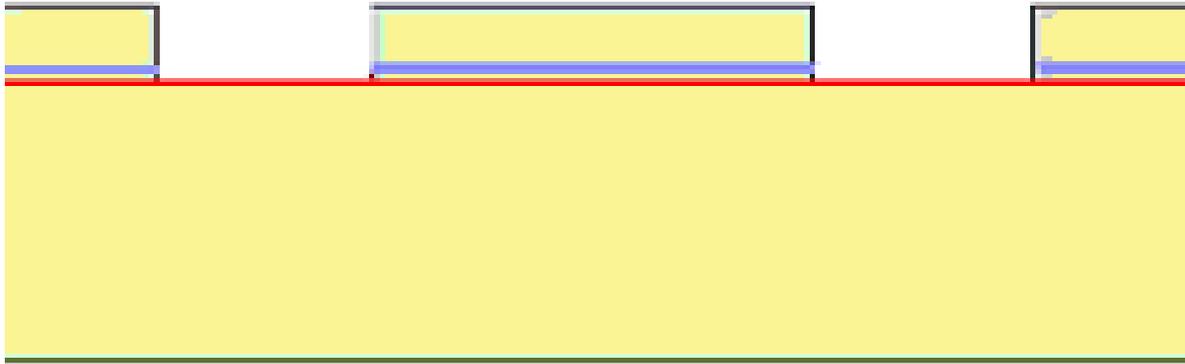
# 管芯截面图





# VCSEL 芯片制造

## 1 一次光刻、干法或湿法腐蚀





# VCSEL 芯片制造

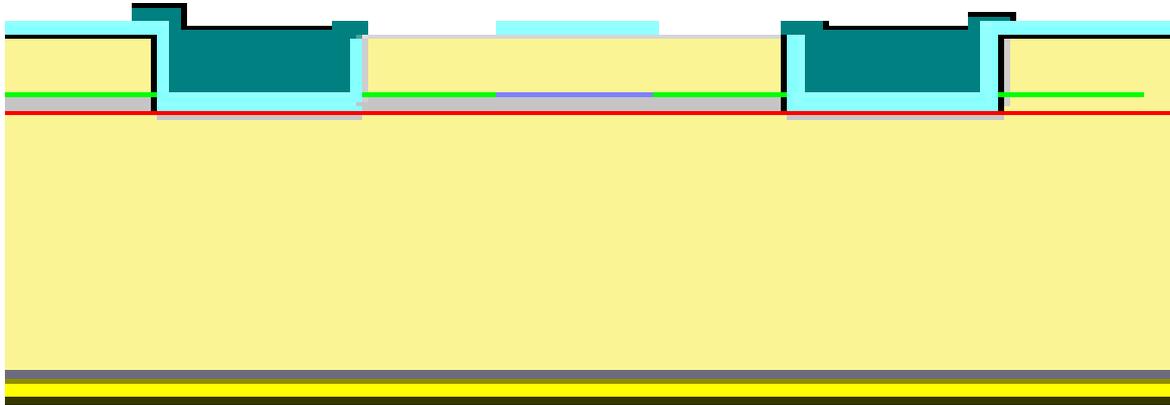
## 2 湿氮氧化





# VCSEL 芯片制造

**3 PECVD 生长  $\text{SiO}_2$ ,  
填充聚酰亚胺**







**谢谢大家，欢迎提问题讨论！**

**Email : wenliu@ustc.edu.cn,  
QQ/微信号: 1214740116**