

Comunicações Ópticas

Elementos de Redes Ópticas
Componentes Ativos

Detetor, Receptor
& Tecnologias de
Montagem/Encapsulam.

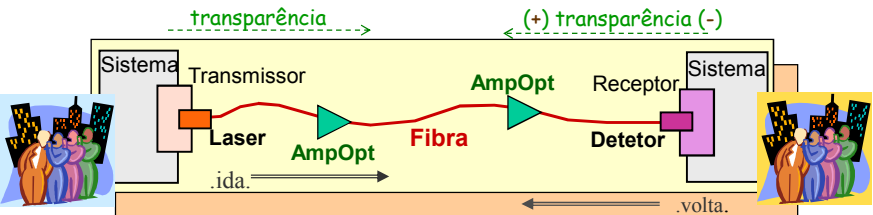
= Mar-Abr. 2020 =

Felipe Rudge Barbosa
 rudge@dsif.fee.unicamp.br
 http://www.dsif.fee.unicamp.br/~rudge
LTF-FEEC-Unicamp



Comunicações Ópticas

Fontes, Detetores e Fibras




- Laser Semicondutor
 - ❖ Fabry-Perot (FP)
 - ❖ Feed-back distribuído (DFB)
- Led
 - ❖ ELed
 - ❖ SLed

- ❑ Fotodetor PIN
- ❑ Fotodetetor APD

- ⊙ Fibra Monomodo
- ⊙ Fibra Multimodo

Tecnologias
Montagem/Encapsulam.



LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Fotodetetores

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Diodos, Transistores e Fotodetetores

Absorção de luz nos materiais (semicondutores)

$E_{\text{fot}} = h\nu > E_{\text{gi}}$

condução

tipo n

tipo p

valência

$\Delta k \neq 0$ (emiss)

n - donors
p - acceptors

Gap indireto
(transições com fons e fonons)


Absorção

- fótons são absorvidos;
- elétrons saltam da banda valência pra banda condução;
- condição:** $E_{\text{fot}} = h\nu > E_{\text{gi}}$; fótons tem que ter energia maior que o gap indireto (sempre menor que o gap direto).

Si, Ge → únicos semicondutores naturais, ambos com gap indireto.

=> Gap indireto é particular/te interessante p/ circuitos integrados (eletronicos) ; e fotodetetores/fototransistors.

UNICAMP



Laboratório de
TECNOLOGIA FOTÔNICA


Comunicações Ópticas


(Laser & Led Semicondutor) Fotodetector

Materiais semicondutores

	Material	Composição	Tipo de gap	Coef. Recomb. Radiat. B (*)
absorção	Si	natural	indireto	2×10^{-15} (cm ³ /s)
	Ge	natural	indireto	4×10^{-14}
emissão	GaAs	binário	direto	2×10^{-10}
	GaAlAs	ternário	direto	2×10^{-10}
	InP	binário	direto	1×10^{-10}
	InGaAsP	quaternário	direto	1×10^{-10}
absorção	InGaAs	ternário	direto	$1,5 \times 10^{-10}$

(*) os valores são típicos, depende da composição do material, e das condições específicas.

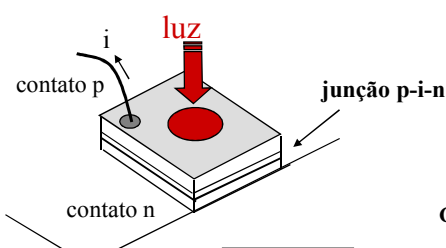




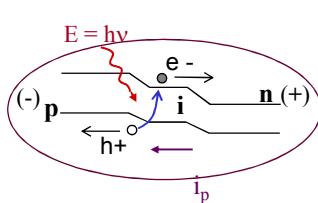
Laboratório de
TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Fotodetector PIN



contato p junção p-i-n
contato n

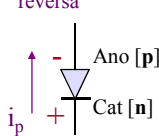


$E = h\nu$

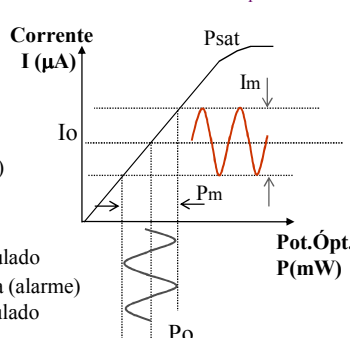
$$I_p = \rho P$$

ρ é eficiência externa, ou responsividade dada em (A/W)

reversa




Ano [p]
Cat [n]



Corrente I (µA)

Pot. Ópt. P (mW)

I_p – fotocorrente gerada
 I_m – fotocorrente sinal modulado
 I_0 – fotocorrente quiescência (alarme)
 P_m – potencia de sinal modulado
 P_0 – potencia DC (alarme)



Comunicações Ópticas

Fotodetetores – fabricação

Estrutura de Fotodetector PIN (InGaAs/InP)

Chip = 500 μm
região ativa 20 μm

Região de depleção* – no equilíbrio, não há cargas livres nesta região; foram todas removidas pelo forte cpo. elétrico criado pela tensão de polarização entre as camadas p e n. Qdo. se polariza a junção, ao incidir fotons ocorre geração de pares elétron-buraco, formando fotocorrente I_p .

*depleção=esvaziamento

UNICAMP

Comunicações Ópticas

Fotodetetores – fabricação

Estrutura de Fotodetector APD (InGaAs/InP)

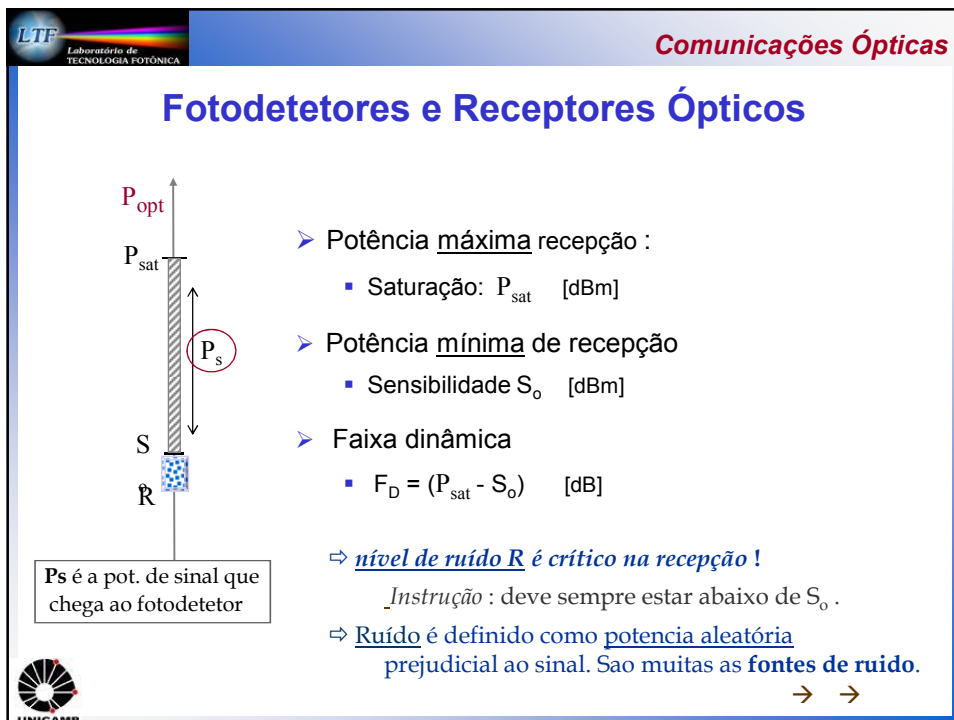
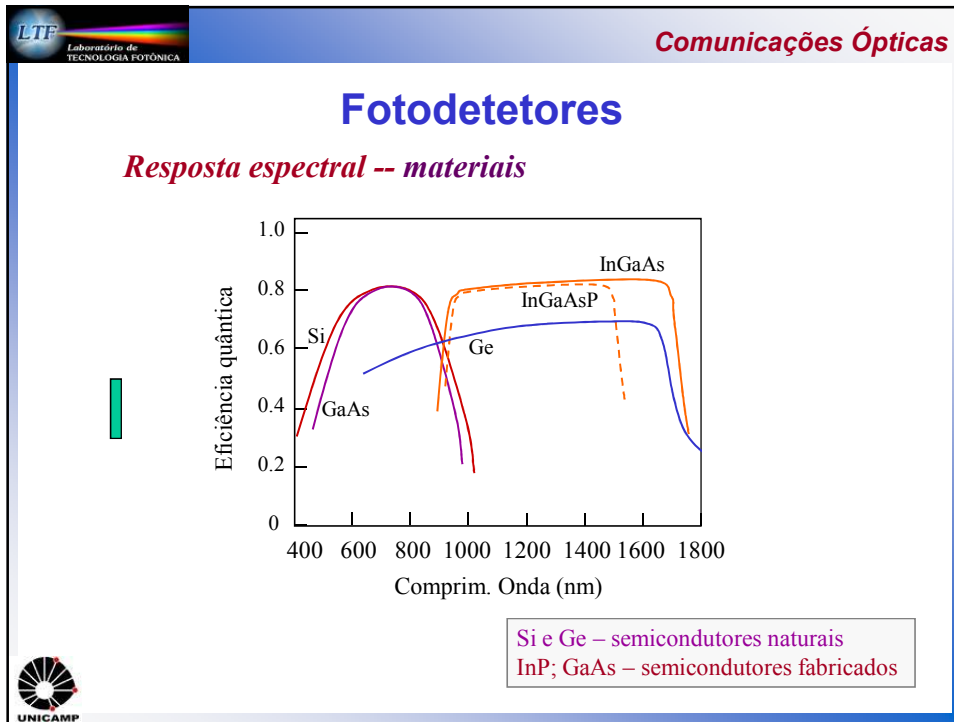
absorção
multiplicação
"isolante" (buffer)
Substrato

$I_M = M \cdot I_p$

fator de multiplicação devido ao efeito avalanche
M= 10, 20, 50 -- mas cuidado...
ruído vem junto!

Avalanche Photodiode –
n-illum: light absorbed at n+/n (thinner) layers creates electron-hole pairs; electrons drift fast (more common) to the n-p/p-π junctions where they are multiplied by the high electric field;
p-illum: light absorbed in the π-p (thicker) layers creates electron-hole pairs; electrons drift to the p-n-n+ junctions where they are multiplied by the high electric field; also called reach-through APD.

UNICAMP



LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Fotodetetores, Receptores Ópticos; Laser

Fontes de ruído: (componentes e sistemas)

Fotodetetor (FD) e Receptor (Rx):

- Ruído de Tiro FD (*shot noise*) -- ocorre em todos os semicondutores, tanto na *emissão* qto. *recepção*, devido ao "tiro" na transição entre as bandas de condução e valência;;
- Ruído termico (int.) FD -- aquecim. junção p-n e da estrut.cristal. p/ geração e aceleração e fluxo cargas eletricas;
- Ruído termico (ext.) Rx -- ocorre devido ao aquecimento ambiental e de passagem de corrente no circuito receptor; influi pq. as fotocorrentes (recepção) são muito pequenas (μA);

☞ Além disso, tem ruídos que já vem c/ sinal transmitido:

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Fotodetetores, Receptores Ópticos; Laser

Fontes de ruído: (componentes e sistemas)

Laser: (todos os tipos)

- Ruído de tiro -- mesmo que FD;
- Ruído de emissão espontânea (ASE) -- emiss. espont. é aleatória e contribui como ruído ao signal do laser (que deve ser bem definido em fase e frequência);
- Ruído de modulação -- na mod. direta há flutuação de intensidade nas transições dos níveis altos e baixos (*situação pior em digital -- OOK; do que analógica-- transições menos abruptas*);
- Ruído intermodal -- (*laser multimodo*) contribuição adicional devido à diferenças distribuição na distribuição de potência dos modos;

UNICAMP

Comunicações Ópticas


Fotodetetores

Valores típicos para sistemas de detecção direta (DD)

Tipo	Tensão Bias	Taxa Bit			
		155	622	2,5 G	10 G
PIN	- 5 V				
Sensibilidade (dBm)		-38	-32	-24	-16
Saturação (dBm)		0	-4	-4	-4
Fx. Dinâmica (dB)		38	28	20	12

Tipo	Tensão Bias	Taxa Bit			
		155	622	2,5 G	10 G
APD	- 40 V				
Sensibilidade (dBm)		-44	-36	-30	-24
Saturação (dBm)		0	-4	-4	-6
Fx. Dinâmica (dB)		44	32	26	18

☞ *Sistemas de altíssima capacidade (40G & 100G) não usam detecção direta. (portanto não vale essa tabela.)*




Comunicações Ópticas

Receptores Ópticos

- ❖ **Fotodetetores** necessitam **circuitos de pré-amplificação**, devido aos baixíssimos níveis de potência e corrente que operam (μW e μA)
 - Tipos de Receptores ópticos :
 - **Alta-impedância**
 - alta sensibilidade, requer equalização, pequena faixa dinâmica
 - **Baixa-impedância**
 - baixa sensibilidade, não requer equalização, grande faixa dinâmica
 - **Trans-impedância**
 - elevada sensibilidade, não requer equalização, grande faixa dinâmica

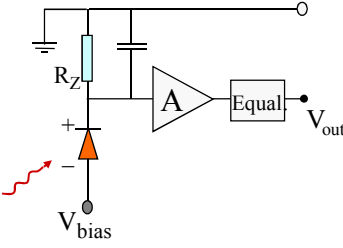
⇒ *todos com baixo nível de ruído!*



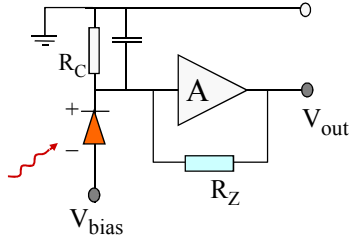
36

Comunicações Ópticas

Receptores Ópticos (deteção direta)



Alta e Baixa Impedância



TransImpedância

UNICAMP

Comunicações Ópticas

Tecnologia de Dispositivos Optoeletronicos

Montagem,
Acoplamento e
Encapsulamento

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Montagem, Acoplamento com Fibras, Encapsulamento

- Lasers (emissores) e Fotodetetores, precisam em Telecom e aplicações especiais (militar, aeroespacial; ambientes agressivos (*harsh environment*) de *montagens especiais* e *encapsulamento hermético* ;
 - ⇒ sistemas que usam dispositivos optoeletrônicos com fibras óticas, necessitam etapa adicional de *acoplamento ótico*.
- As montagens e encapsulamentos podem ser classificados:
 - ⇒ *Herméticos* -- utilizam metais e soldas, cerâmicos, semicondutores;
 - ⇒ *Não-herméticos* – utilizam metais, colas, acrilatos e resinas epoxy.
- São condições necessárias aos *herméticos*:
 - ❖ *alta estabilidade e eficiência de acoplamento ótico* para menor consumo de potencia e maior durabilidade do laser -- utilizam-se *microlentes (fibra)* e *soldas metálicas (montagem)*;
 - ❖ *eficiente dissipação térmica* (inclui controle de temperatura interna da capsula) – escolha correta/adequada de *metais e soldas, cerâmicos, semicondutores (nunca resinas, colas, acrilatos ou epoxy)*.

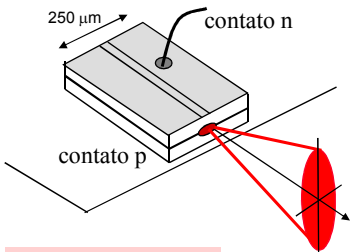
UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Tecnologia Dispositivos Optoeletrônicos


Laser Semicondutor -- Emissão e Acoplamento Óptico .



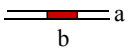
250 µm

contato n

contato p



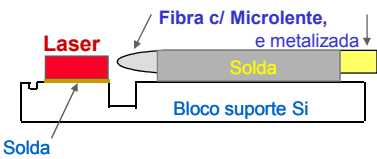
Limite de difração

$$a, b \approx \lambda$$


Região ativa

Alt. $a \approx 0,2 \mu\text{m}$

Larg. $b \approx 2 \mu\text{m}$



Laser

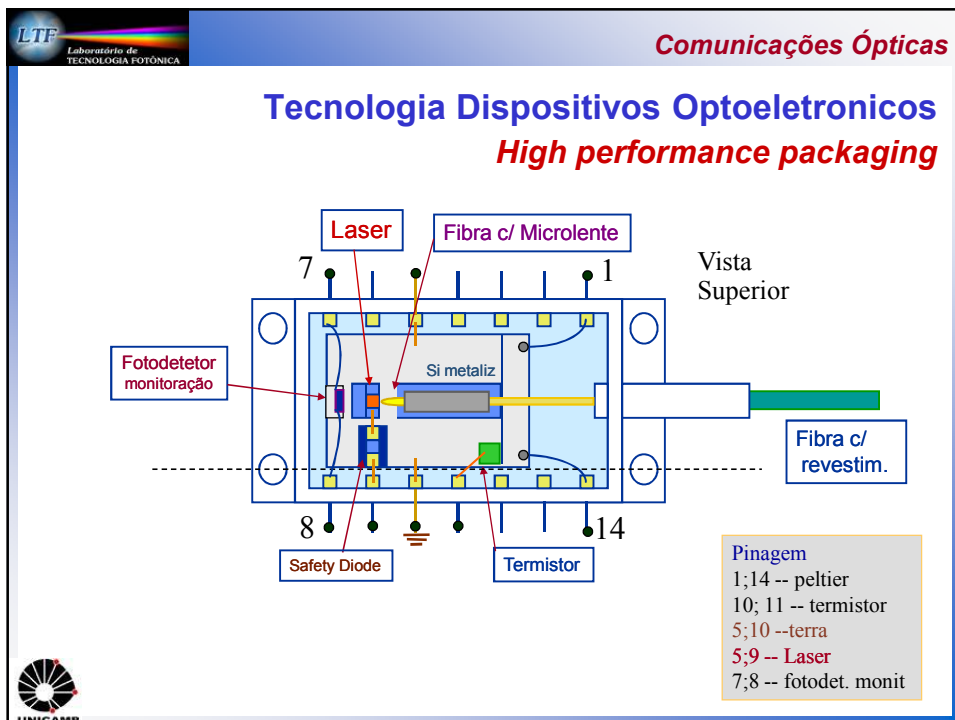
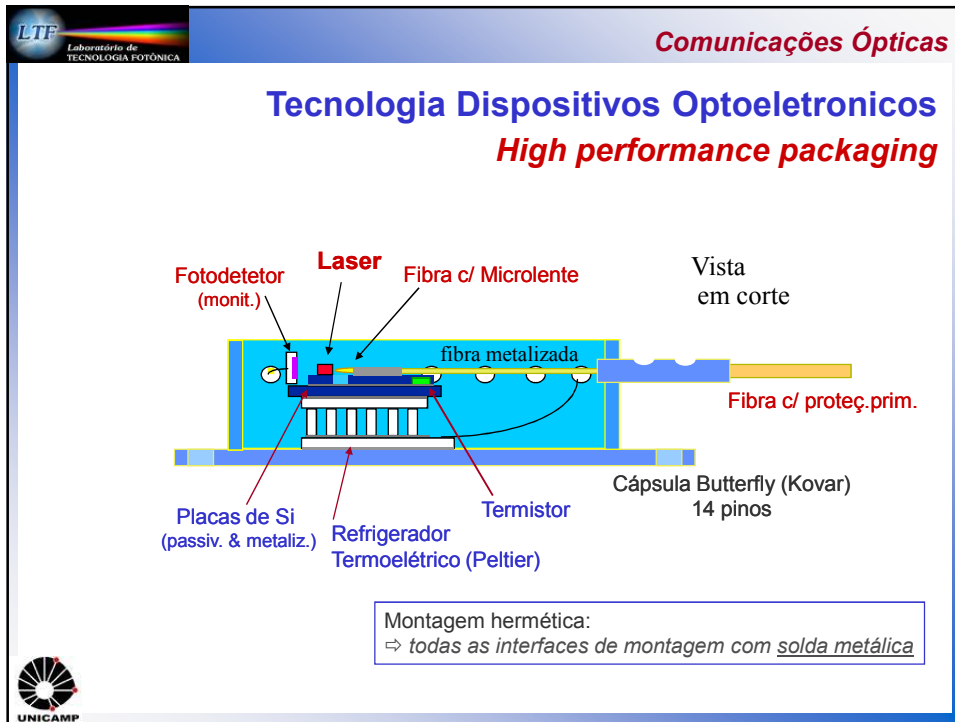
Fibra c/ Microlente, e metalizada

Solda

Bloco suporte Si

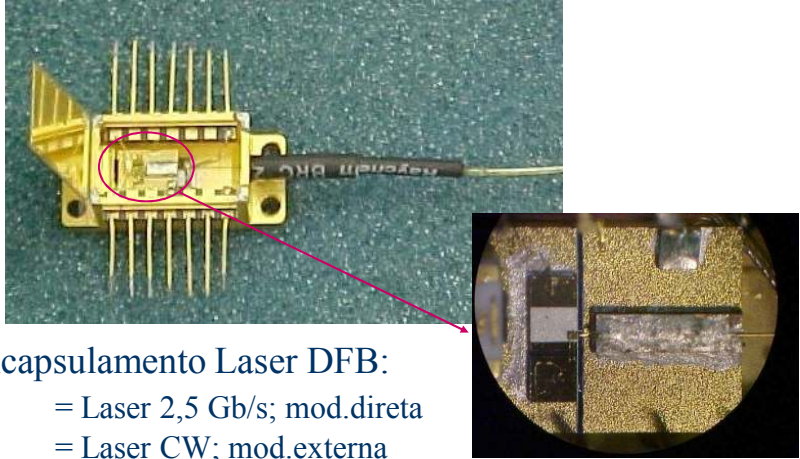
Solda

UNICAMP



Comunicações Ópticas

Tecnologia Dispositivos Optoeletronicos
High performance packaging



Encapsulamento Laser DFB:

- = Laser 2,5 Gb/s; mod.direta
- = Laser CW; mod.externa
- = Fx.Pot. [0;+10dBm]

Tecnologia
CPD

UNICAMP

Comunicações Ópticas

Tecnologia Dispositivos Optoeletronicos
High performance packaging

Partes e Componentes – descritivo

- ❑ **Laser semiconductor** –DFB ou laser potencia/bombeio;
- ❑ **Termistor** -- dispositivo semiconductor com coef. térmico negativo; tb. conhecido como NTC; serve como sensor de temperatura de alta precisão;
- ❑ **Fotodetector** monitoração -- fotodetector de Ge (ou Si) de baixo desempenho; serve apenas pra monitorar a potencia óptica CW do laser;
- ❑ **Peltier** -- dispositivo semiconductor composto; trata-se de refrigerador termo-elétrico de estado sólido; funciona com corrente elétrica >100 mA ;
- ❑ Placas Alumina -- Al₂O₃ , pode-se apresentar em forma cerâmica ou vítrea; alta condutividade térmica, isolante elétrica; pode ser tb. AlN;
- ❑ Wafer Si ("bruto"); passivado e metalizado;
- ❑ Cápsula metálica -- peça alta precisao de materia Kovar (Fe, Co, Ni) com baixo coef. exp. térmica, igual a cerâmica de isolamento p/ manter hermeticidade nos pinos de contato;

Tecnologia
CPD

UNICAMP

LTP Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA Comunicações Ópticas

Device Technology

➤ **Optoelectronic Devices** – *fabrication steps*

❖ Crystal growth – epitaxy on a substrate;

❖ Device processing;
➤ masks; contact definition; diffusion; metallizations; cleavage;

❖ Device assembly and mounting;
➤ Die attach; wire-bonding;


➤ Testing => seleção; (& amostras p/ testes vida/confiab.)
 Reliability tests

➤ **Packaging** (*may include Fiber coupling*) ;
 Reliability tests

➤ Final tests & quality control; (& dispatch)

=require clean-rooms VERY clean

=require controlled environment




LTP Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA Comunicações Ópticas

Montagem, Encapsulamento, Semicondutores

Further *advantages & challenges* for *semiconductor packaging* :

- *Semiconds* are delicate and brittle – packaging **adds robustness**;
- *Semiconds* are difficult to connect electrically:: packaging **integrates the electrical connection**;
- Harsh environments and/or humidity can damage *Semiconds* – packaging provides a **hermetic seal and insulation**;
- Assembly of *Semiconds* is labor intensive – packaging **eases mechanical integration**.



Comunicações Ópticas

Tecnologia Dispositivos Optoeletronicos

Fotodetetores e Receptores Opticos






**Optoelectronic-Microelectronic
PIN-FET-TransZ**
packaging with metallized fiber




Comunicações Ópticas

Mercado livre :
**Lasers, Detetores
e Transceivers (Tx/Rx)**

SPIE - PhotonWest
2016

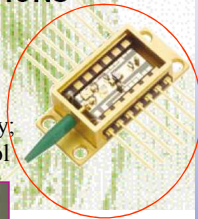
Lasertron, Inc.


SET Technical Bulletin

DIE BONDING APPLICATIONS

2010-2012
SET- Smart Equipt Technolg (Fr)
Nov. 2011

**Axsun Technl. – MEOMS assembly:
DFB laser package with gain control**

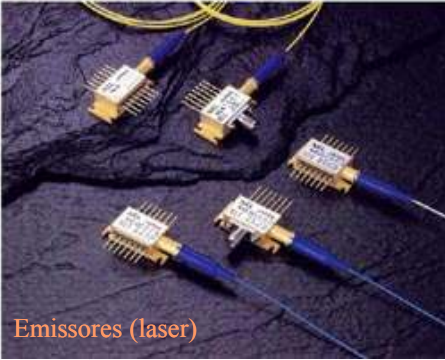




LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA


Comunicações Ópticas

Mercado livre :
Lasers, Detetores e Transceivers (Tx/Rx)

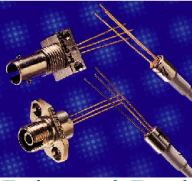


Emissores (laser)


Altíssimo desempenho (alto custo)



Fotodetetores



Emissores & Fotodetetores (baixo. Custo)



Transceivers

UNICAMP

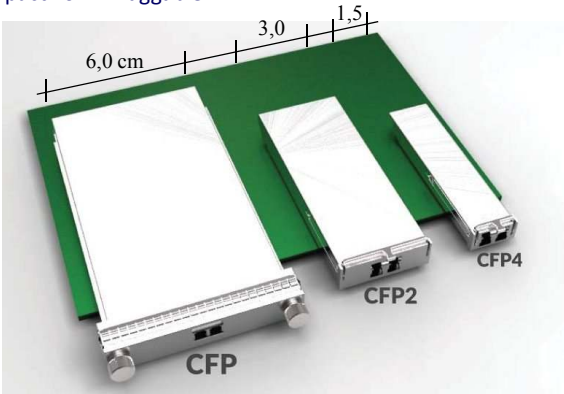
48

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Mercado livre :
Transceivers (Tx/Rx; demais funções ...)

Modulos óticos CFP
= Compact Form Pluggable



6,0 cm 3,0 1,5

CFP CFP2 CFP4

>>>

=> os conectores óticos Tx/Rx são todos do mesmo tamanho.

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

400 Gb/s modules

- NeoPhotonics Corp. (NYSE: NPTN) has launched its OSFP optical transceiver to what it termed “a leading Cloud related customer.” The OSFP module is the optical transceiver the company has announced past week, the public debut of the 400ZR *ClearLight* CFP2-DCO (). It targets IP over DWDM style metro and data center interconnect applications.
- The new CFP2-DCO, the *ClearLight* OSFP leverages a merchant 7-mm coherent DSP alongside internally produced optical modules, in the company’s silicon photonics based Coherent Optical Subassembly (COSA) and Nano-ITLA tunable laser (64-GBaud coherent optical components). The module complies with the OIF 400ZR Implementation Agreement (IA), making it interoperable with other 400ZR modules that use a standard *forward error correction* (FEC) encoder and decoder. It will support reaches to 120 km per the 400ZR IA but is designed to be applicable to the longer links.
- Per the OIF IA, the module will support wavelength spacings within the C-Band of 75 GHz or 100 GHz.

=> OSFP = optical small form pluggable ;
 CFP = compact form pluggable (2 refers to size) ;
 DSP = digital signal processing;
 ITLA = integrated tunable laser assembly;
 OIF = Optical Internetworking Forum (<http://www.oiforum.com/>)

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Montagem; Acoplamento com Fibras; Encapsulamento

- Além das etapas descritas, são necessários testes de *resistência* (robustez mecânica, elétrica e térmica) , *confiabilidade e durabilidade*; são chamados genericamente *testes de confiabilidade*, e incluem também *testes de vida*, onde as condições de operação são “aceleradas”;
- São realizadas a nível de *sub-mount*; e encapsulado.
 - ⇒ realizam-se em condições controladas, em laboratório, e incluem ciclos de *temperatura*, *stress* em *corrente de operação*, separados ou combinados;
 - ⇒ podem ser realizados em ambiente neutro (atmosfera N2, pressão atm.); ou incluir condições climáticas adversas --
 -- *humidade e salinidade*, aliadas a *temperatura*;



1,80m

End of Chapter

UNICAMP