

Projektowanie linii światłowodowej krok po kroku (bez wzmacniaczy):

PROJEKT OBEJMUJE:

- **WYBÓR WŁÓKNA:**
MM – wielomodowe, SM – jednomodowe
- **Wybór długości fali źródła**
- **WYBÓR TYPU ŹRÓDŁA:**
LED, laser wielomodowy (F-P LD), laser jednomodowy (DFB LD)
- **WŁAŚCIWOŚCI I TYP FOTODIODY**
Szybkość działania, czułość (p-i-n, APD)

1. Obliczanie szybkości systemu dla założonej przepustowości (R_{NRZ} lub R_{RZ}) i długości linii L.

$$t_{sys} < T_{sys}$$

$$t_{sys} = \frac{0.7}{R_{NRZ}} \text{ lub } t_{sys} = \frac{0.35}{R_{RZ}}$$

Przykładowe dane i obliczenia:

$$R_{NRZ} = 400Mbps, L = 100km$$

$$t_{sys} = \frac{0.7}{4 \cdot 10^8} = 1.75ns = 1750 ps$$

Odpowiedź całego systemu (nadajnik, włókno, odbiornik) musi być < 1750ps

2. Dobór włókna w odniesieniu do poszerzenia (nieprzekraczalne poszerzenie na 1km).

$$\frac{\text{poszerzenie}}{\text{długość}} = \frac{1750ps}{100km} = 17.5ps/km = 0.0175ns/km$$

**PRZYJMUJEMY TYPOWE WARTOŚCI POSZERZENIA w [s/km]
DLA RÓŻNYCH WŁÓKIEN:**

- MM_{SI} – 15ns/km (100km*15ns/km >> 1750 ps) – nie spełnia wymagań
- MM_{GI} – 1ns/km (100km*1ns/km >> 1750 ps) – nie spełnia wymagań
- SM_{850nm} – 500ps/km (100km*0.5ns/km >> 1750 ps) – nie spełnia wymagań –
-> nawet jednomodowe włókno (SM) w I oknie ma
zbyt dużą dyspersję!

Żadne nie spełnia wymagań.

Dla takiej odległości dyspersji trzeba uderzyć w inne okna transmisyjne (2 i 3 - odpowiednie 1310nm i 1550nm).

Dla włókna jednomodowego standardowa dyspersja wynosi $D_{ch1550} = 15.5 \text{ ps}/(\text{nm} * \text{km})$

Typowe tłumienności włókien:

$\alpha_{1310\text{nm}}$	0,5 dB/km, 100 km → 50 dB
$\alpha_{1550\text{nm}}$	0,25 dB/km, 100km → 25 dB

$\alpha_{1310\text{nm}}$ – 0,5 dB/km, 100 km to aż 50 dB-> bardzo duże tłumienie -> najprawdopodobniej sygnał na wejściu odbiornika będzie miał zbyt niski poziom

$\alpha_{1550\text{nm}}$ – 0,25 dB/km, 100km to 25dB – wybieramy jednomod SM, pracujący w III oknie

3. Wybór Źródła:

LED czy Laser? Wiadomo że lasery bo dziwki i lasery

Laser	$\lambda=1550\text{nm}, \Delta\lambda=0,15 \text{ nm}, t_{LS}=1\text{ns}, P_{LD}=5 \text{ dBm}$
LED	$\lambda=1550 \text{ nm}, \Delta\lambda=50 \text{ nm}, P_{LED}=-25\text{dBm}$

-Laser - $t_{fib} = \Delta\tau = L * D_{ch} * \Delta\lambda = 100\text{km} * 15.5\text{ps}/\text{km} * 0.15 \text{ nm} = 0.233\text{ns} = 233\text{ps} \ll 1750\text{ps}$

$(100) * (0.0155) * (0.15)$

Extended Keyboard Uplo

Input:

$100 \times 0.0155 \times 0.15$

Result:

0.2325

-LED -

$t_{fib} = \Delta\tau = L * D_{ch} * \Delta\lambda = 100\text{km} * 15.5\text{ps}/\text{km} * 50\text{nm} = 77.5 \text{ nm} = 77\,500 \text{ ps} \gg 1750 \text{ ps}$

Input:

$100 \times 0.0155 \times 50$

Result:

77.5

Bardzo szybkie widmo LED powoduje niedopuszczalne poszerzenie impulsów we włóknie.

Mówiłem że laser XDD

4. Wybór detektora

Detektor jest wybierany na bazie wymaganej szybkości działania.

Dynamika systemu:

Znamy:

$$t_{LS} = 1ns \quad \text{-szybkość narastania źródła}$$

$$T_{sys} = t_S = 1750 ps = 1.75ns \quad \text{-szybkość systemu}$$

$$t_{fib} = 233 ps = 0.23 ns \quad \text{-szybkość włókna}$$

$$t_S^2 = t_{PD}^2 + t_{LS}^2 + t_{fib}^2$$

$$t_{PD}^2 = t_S^2 - t_{LS}^2 - t_{fib}^2 \quad \text{-szybkość detektora}$$

$$t_{PD}^2 = t_S^2 - t_{LS}^2 - t_{fib}^2 = (1.75^2 - 1^2 - 0.23^2) = 2.0096ns^2$$

$$t_{PD} = 1.4ns \quad \text{-szybkość detektora}$$

5. Formularz dynamiki systemu

Budżet systemu T_{sys}	1.75ns
Źródło $t_{LS} \rightarrow T_{Tx}$	1ns
Włókno $t_{fib} = T_{CD}$	0.23ns
Odbiornik $t_{PD} = T_{Rx}$	1.4ns
System $t_{sys} = \sqrt{t_{TX}^2 + t_{CD}^2 + t_{RX}^2}$	$\sqrt{(1^2 + 0.23^2 + 1.4^2)} = \sqrt{(1 + 0.0529 + 1.96)} = \sqrt{3.0129} \approx 1.735 \approx 1.75$

$$t_{sys} \leq T_{sys}$$
$$1.75 \leq 1.75$$

Budżet mocy	
Laser	+5dBm - P_{LD}

-Włókno (0.25dB/km) przy 1550nm	25dB
-Złącza 1dB/szt (2szt)	2dB
-Spawy 0.1dB/szt (położone co 2 km)	5dB
-Straty sprzężenia	3dB
=Łączy straty razem	35dB
Moc na wyjściu	+5dBm - 35dB = -30dBm
Czułość APD	-40dBm
– Margines APD	$\text{moc_na_wyj} - (-\text{czułość_APD}) =$ $= -30 - (-40) = 10\text{dB}$
Czułość PIN	-32dBm TABELA 12.3
– Margines PIN	$-30 - (-32) = 2\text{dB}$

a) Co zrobić, jeżeli analiza dynamiki nie doprowadzi do pozytywnych rezultatów? Jakie mamy stopnie swobody (nie tylko parametry), które możemy wykorzystać by spełnić oczekiwania?

Możemy zmienić odbiornik na inny-szybszy.

Należy się zastanowić nad wyborem źródła- czas narastania jest jednym z najważniejszych parametrów źródła. Również wybór włókna ma znaczenie(szybkość włókna, dł. fali, tłumienność, dyspersja, współczynniki załamania).

b) Jak w pkt a, ale odnośnie budżetu mocy - jakimi dysponujemy możliwościami poprawienia budżetu mocy?

- zwiększenie mocy nadajnika,
- dodanie wzmacniaczy
- zwiększenie zysku anteny,
- poprawa czułości odbiornika lub minimalizacja strat w kanale transmisyjnym,
- skrócenie toru,
- obniżenie szybkości transmisji - pozwala zwiększyć czułość odbiornika

Przyjęcie zbyt wysokiego budżetu, znacznie powyżej wymaganego zasięgu komunikacji, jest błędem - oznacza to, że wciąż istnieje możliwość optymalizacji pracy systemu.

Metodyka wyboru elementów systemu

	Sieć magistralna	Sieć metropolitalna			Sieć lokalna	
		Między budynkami	CATV/Video	Rozsiewcza	LAN	Łączy dane
Odcinki regen. km	30-80	3-20	10-20	0.1-1	1-100	0.03-3
Typ informacji	PCM, cyfr Audio/Video	PCM, cyfr Audio	1-100 kanałów 6 MHz	1-4 kan. TV, tel. cyfr	Cyfr/audio	RS232
Przepływność (we włóknie)	135-40.000 Mbps	45-2400 Mbps	6-800 Mbps	>139 Mbps	10-1000 Mbps	DC-20 Mbps
Straty łączy, dB	20-30	20-30	10-20	3-10	17-24	10-40
Długość fali, ηm	1.3, 1.55, 1.6	0.85, 1.3	1.3, 1.55	0.85, 1.3	0.85, 1.3	0.85
Typ włókna	SM	MM-GI, SM	SM	MM-GI, SM	MM, SM	MM
Źródło optyczne	Laser	LED, Laser	Laser	LED	LED, Laser	LED
Detektor	PIN/FET, APD	PIN/FET	PIN/FET, APD	PIN	PIN	PIN
Połączenia	Spawane	Spawane/mechaniczne	Spawane	Spawane / Mechaniczne	-	-
Złącza	FC, SC, E-2000	FC, SC	FC, SC	SMA	SMA/MIC	SMA
Sprzęgacze	WDM	WDM-2	WDM-wielok.	Dwukierunkowe	Gwiazda	-
Multip. wielofalowa	+	-	+	Duplex	-	-

Opracowanie wykładu

1. Sprzęgacz kierunkowy - budowa, działanie, właściwości

Sprzęgacz kierunkowy jest prostym układem zawierającym dwa transformatory. Posiada następujące parametry przydatne przy projektowaniu:

Sprzęgacz kierunkowy – parametry

- Excess loss – straty wewnętrzne
$$L_E = 10 \log \frac{P_1}{P_3 + P_4}$$
- Insertion loss – straty wtrąceniowe
$$L_I = 10 \log \frac{P_1}{P_4}$$
- Directionality - kierunkowość
$$L_D = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$
- Split ratio – współczynnik podziału
$$SR = \left[\frac{P_3}{P_3 + P_4} \right] * 100\%$$

2. Współczynnik sprzężenia światłowodów - od czego zależy jego wartość?

$$L_T = L_S + L_E$$

- rozgałęźnik M:N

- Splitting losses – straty podziału (star coupler) $L_S = 10 \log(N)$
- Excess loss – straty wewnętrzne (star coupler) $L_E = 10 \log \left[\frac{P_i}{\sum_{j=1}^N P_j} \right]$
- Total loss – straty całkowite $L_T = L_S + L_E$
- Insertion loss – straty wtrąceniowe $L_I = 10 \log(P_i/P_j)$

Praktyczne zadania:

Zadanie 2

Oblicz straty podziału L_S idealnych ($L_S = L_T$) rozgałęźników:

a/ 1:16 = 2^4 (każde pomnożenie daje +3 lub -3 dB): 12 dB straty

b/ 1:32 15 dB straty ($2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2$)

c/ 1:64 18 dB straty

Zadanie 3

Rozgałęźnik typu SC: 32*32; $P_i=1$ mW (moc doprowadzona do wejścia P_i); $P_j=0,014$ mW (moce wyjściowe, identyczne dla każdego z wyjść)

Oblicz parametry sprzęgacza SC 32*32: L_S , L_E , L_T , oraz L_I

$$L_S = 10 \log(N) = 10 \log(32) = 15,05 \text{ dB}$$

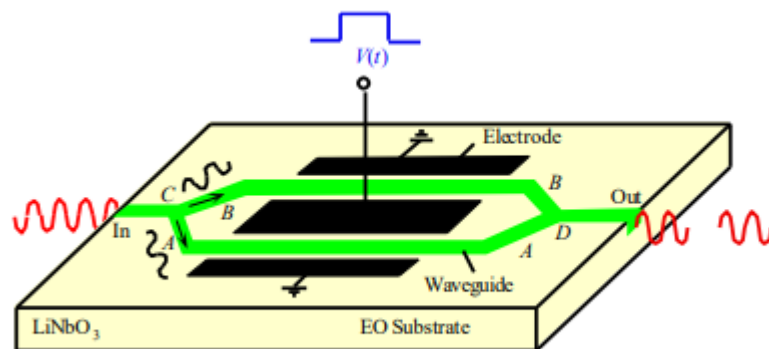
$$L_E = 10 \log \left[\frac{P_i}{\sum_{j=1}^N P_j} \right] = 10 \log \left[\frac{10^3}{32 \cdot 14} \right] = 3,49 \text{ dB}$$

$$L_T = L_S + L_E = 15,05 + 3,49 = 18,54 \text{ dB}$$

$$L_I = 10 \log \frac{P_{we}}{P_j} = 10 \log \frac{10^3}{14} = 18,54 \text{ dB}$$

5. Modulator elektro-optyczny

6. Schemat, działanie interferometru Macha-Zendera
rys.



integrated Mach-Zehnder optical intensity modulator. The input light is

Na wejście wchodzi sygnał i rozdziela się na dwie ścieżki, którymi podąża w stronę wyjścia i przed wyjściem dwie ścieżki łączą się z powrotem w 1 sygnał

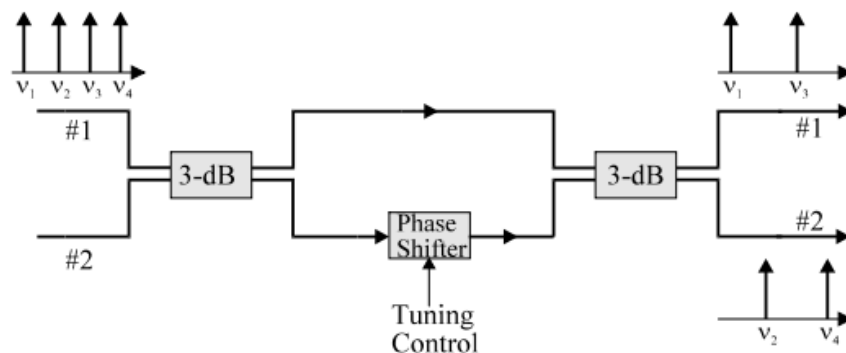
Dwa skrajne przypadki to:

sygnały docierają w tej samej fazie i moc na wyjściu == moc na wejściu

sygnały docierają w przeciwfazie i na wyjściu nie ma żadnego sygnału bo się wyzerowały

Punkt rozgałęzienia (C i D na rysunku) jest realizowany za pomocą sprzęgacza kierunkowego
Możemy wpływać na współczynniki załamania w falowodach przez co możemy uzyskać dowolne zależności w punkcie D

A single-stage Mach-Zehnder interferometer:

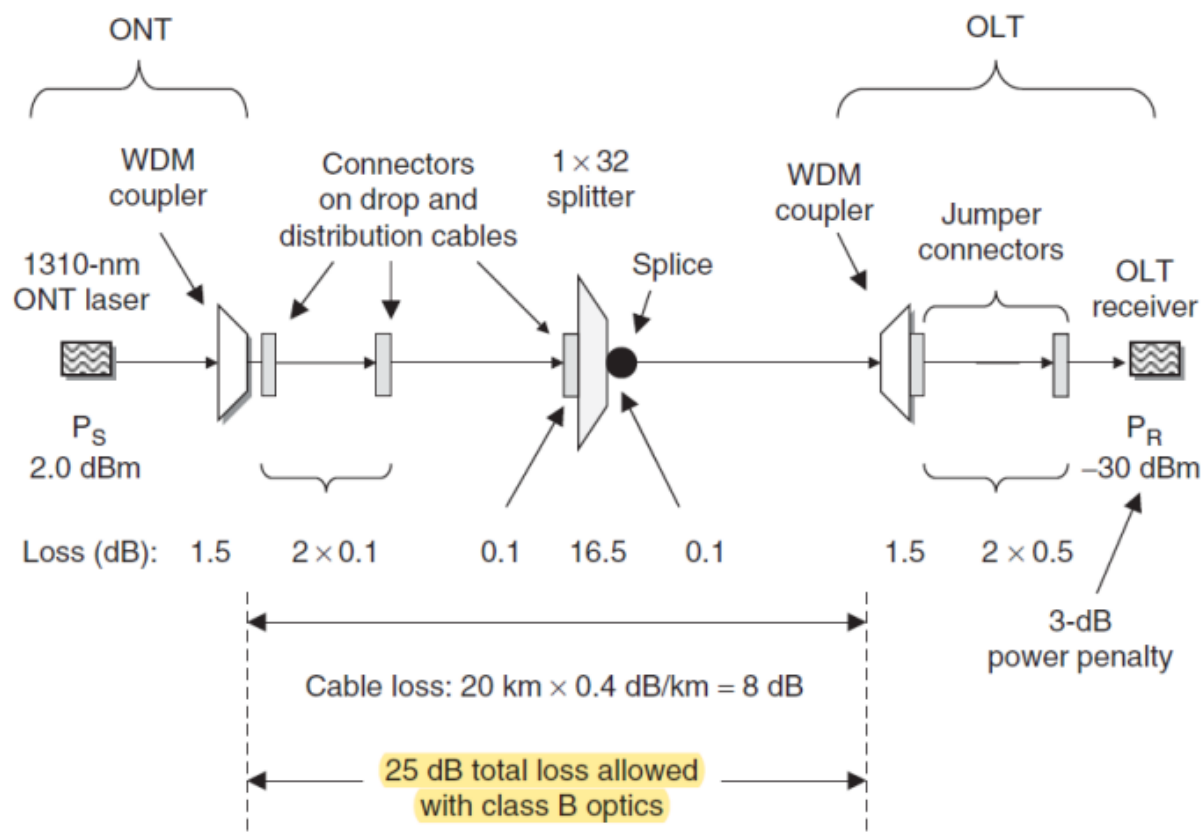


Mówił że jak będzie takie pytanie to rysujemy to co tutaj ale bez nośnych v (z nośnymi jak chcemy demultiplexer)

9. Zastosowanie interferometru macha-zendera

Można to wykorzystać do badania subtelnych niejednorodności obiektów przezroczystych - np. przestrzennego rozkładu naprężeń w przezroczystym ośrodku stałym, lub rozkładu temperatury (i zarazem gęstości) gazu.

8. Bilans mocy systemu PON



to co na minus to odejmujesz

to co na plus to dodajesz

$$P_{TX} = P_{RX} + \alpha_{Tot} + M$$

$$P_{TX} = P_{RX} + (\alpha_f + \alpha_{sp})L + \alpha_{ct} + M$$

Uwzględniając ekwiwalentne straty dyspersji D_L

$$P_{TX} = P_{RX} + (\alpha_f + \alpha_{sp})L + \alpha_{ct} + D_L + M$$

Gdzie:

P_{TX} – moc nadajnika [dBm]

P_{RX} – moc na wejściu odbiornika lub czułość odbiornika [dB]

α_f – tłumienie włókna [dB/km]

α_{sp} – średnie tłumienie spawów na kilometr włókna [dB/km]

α_{ct} – tłumienie złączy [dB]

D_L – ekwiwalentne straty dyspersji [dB]

M – margines mocy [dB]

$P_{RX} = -55$; [dBm] - czułość odbiornika

$P_{TX} = -3$; [dBm] - moc nadajnika

$\alpha_f = 0.4$; [dB/km] - tłumienie włókna

$\alpha_{sp} = 0.1$; [dB/km] - uśrednione tłumienie spawów

act = 1; %dB/szt - tłumienie złączy
M = 7; %dB - założony margines mocy

%DL = %dB - ekwiwalentne straty dyspersji
 $L = (-Prx - act - M + Ptx)/(af + asp)$

to do matlaba

9. Ekwiwalentne straty (power penalties) łączy optycznych

Ekwiwalentne straty dyspersji chromatycznej

$$P_{CD} = -5 \log[1 - (4BLD_{CD}\Delta\lambda)^2]$$
$$P_{CD} < 0.5dB \leftrightarrow B \cdot L \cdot D_{CD} \cdot \Delta\lambda < 0.1$$

Ekwiwalentne straty dyspersji modowej

$$P_{MM} = (\tau_c/\tau)^4 [dB]$$
$$\tau_c = 2\sigma\sqrt{2}$$
$$P_{MM} = 2(2\sigma B_T\sqrt{2})^4 [dB]$$
$$t = 1/BT; \tau_c = \text{poszerz. imp. (1/e)}; \sigma = \text{szerokość rms}$$

Ekwiwalentne straty PMD

$$P_{PMD} < 1dB/30min/rok \leftrightarrow \Delta T_{ortSOP} < 0.14\tau$$

Ekwiwalentne straty ER

$$P_{ER} = -10 \log((ER - 1)/(ER + 1))$$
$$P_{ER} < 0.5dB \leftrightarrow ER > 18$$

Ekwiwalentne straty chirpu

????????????????

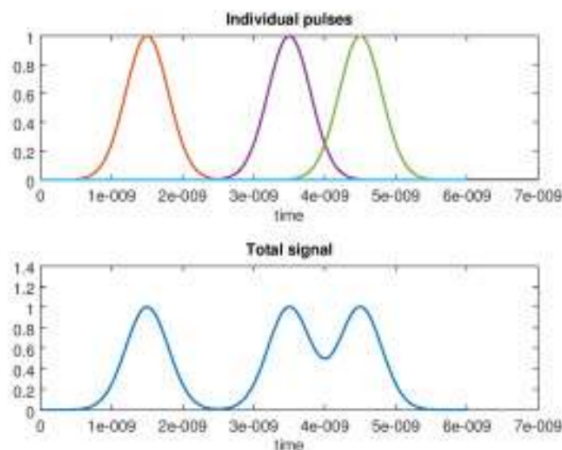
Ekwiwalentne straty nieliniowego rozpraszania

nasycenie gdy $P_{sygn} > 17dBm$

Ekwiwalentne straty dyspersji chromatycznej:

Dyspersja powoduje **poszerzenie impulsów** w dziedzinie czasu i tym samym **zmniejszenie ich amplitudy** na wejściu odbiornika. Efekt ten można uwzględnić w budżecie mocy wprowadzając ekwiwalentne straty (Power penalty)

Co więcej ekwiwalentne straty dyspersji chromatycznej prowadzą do, zmniejszenia różnicy pomiędzy poziomami mocy logicznego 0 i 1:



Zgodnie z poprzednimi wyrażeniami ekwiwalentne straty D_L opisują równania:

$$D_L = \left(\frac{\tau_c}{\tau} \right)^4 [dB]$$

$$\tau_c = 2\sigma\sqrt{2}$$

$$D_L = 2 \left(2\sigma B_T \sqrt{2} \right)^4 [dB]$$

τ – okres impulsu $= 1/B_T$

τ_c – poszerzenie impulsu na poziomie $(1/e)$ spowodowane dyspersją

σ – szerokość rms impulsu (zakładając Gaussowski kształt)

Charakter obserwowanego poszerzenia impulsów zależy od występowania sprzężenia pomiędzy modami (mode coupling) lub jego braku. Sprzęganie modów (mode coupling) oznacza wymianę (przepływ) energii pomiędzy modami.

Gdy **nie występuje sprzężenie modów** poszerzenie impulsu jest **proporcjonalne do długości włókna**:

$$\sigma_T = \sigma * L$$

Gdy **obserwujemy sprzężenie modów** poszerzenie impulsu zachodzi wolniej:

$$\sigma_T = \sigma * (L)^{0.5}$$

σ_T - poszerzenie impulsu na wyjściu włókna o długości L

Dynamika systemu: składowe dynamiki sieci PON

Wzmacniacze półprzewodnikowe (SOA – semiconductor optical amplifier): kategorie, właściwości, zastosowania, funkcjonalne możliwości

Kategori jest 6 i mają różne zastosowania :

- Linear amplification
 - The linear SOA is a device optimised for low noise, broadband amplification of optical signals [1]. These parameters are very important in Metro WDM systems (<200km transmission distance), where additional optical gain is required to compensate for either transmission losses or component losses in network equipment such as optical add-drop multiplexers (OADM). For the standard CIP linear SOA (L-SOA) product (SOA-L-OEC-1550), this is designed to provide optical gain across the telecommunications C-band (wavelengths 1535nm to 1560nm).
- Nonlinear Operation
 - In contrast to the linear SOA device described in section 2, the nonlinear SOA (NL-SOA) is designed to have a low saturated output power and to maximise the crosstalk between different wavelength channels. CIP's NL-SOA device (SOA-NL-OEC-1550) is used as a nonlinear optical element to facilitate alloptical switching between two different optical beams. The important parameters for this device are to have a large gain, a low PDG under saturation and a very fast gain recovery time. Having a fast gain recovery time is important so that the NL-SOA can be used with high-speed optical data (>40Gb/s)
- SOAs for Fast Gating and Switching
 - Unlike EDFAs, SOAs can also be electrically gated on and off in only a few nanoseconds making them ideal elements for high-speed switch fabrics and optical systems that are burst or packet based [13]. These high-speed reconfigurable fabrics can be used for high-capacity interconnects [14] (computer & router) where the SOA is used as a space switch to dynamically select the output ports. Telecommunications applications include TDMA-PONs, OADMs and optical packet systems [15].
- Reflective Amplifiers as Data Modulators
 - The SOA can be used as a reflective device if one facet of the chip has a high reflection coating applied to it, rather than a more usual antireflection coating. In this configuration, the input and amplified light are coupled into and out of the SOA with the same optical fibre. This type of SOA has applications in optical access networks, such as passive optical networks (PONs) and WDM schemes using spectral slicing. In these applications the SOA is placed in the customer optical network unit (ONU) as part of the upstream data source and the reflective SOA acts as an optical modulator with gain. An advantage of the SOA for this application is that its large

optical bandwidth means that it is 'colourless' i.e. the performance of the device is independent of the wavelength of the input optical signal.

- Reflective Amplifiers as Laser Gain Blocks
 - Any type of external cavity laser (ECL) requires an optical gain element to be combined with other wavelength selective optical components to form the laser cavity. The CIP device SOA-R-OEC-1550 is a special type of reflective SOA designed for this gain block application
- SOA Arrays
 - In addition to the discrete SOA chips, a number of applications are now demanding SOAs monolithically integrated into arrays. These applications include multi-channel optical regenerators [18] and computer interconnects [14,15] where the physical size and cost reduction are important for building scalable and integrated photonic systems.

Architektura i właściwości WDM-PON z zastosowaniem wzmacniaczy SOA
(technologia i systemy UDWDM – dla chętnych)

Detekcja sygnałów optycznych

Metody detekcji fotonów

• Efekty termiczne:

Termoelektryczny,
piromagnetyczny,
piroelektryczny,
ciekła kryształy

• Efekty bazujące na oddziaływaniu fal:

Parametryczna up/down conversion,
parametryczne wzmocnienie

• Efekty fotoniczne:

Fotoprzewodnictwo,
emisja,
fotowoltaiczne

Typy detektorów światła

- Powielacze próżniowe
- Optorezystory
- Diody p-n
- Diody m-s
- Diody p-i-n
- Diody lawinowe APD

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{E_g} = \frac{1240}{E_g [eV]} [nm]$$

$$P_a(x) = P_i(1-R)(1-e^{-\alpha x})$$

$$\eta(x) = \frac{N_e}{N_p} = (1-R)(1-e^{-\alpha x})$$

$$\omega_{RC} = \frac{1}{R_s C_j}$$

$$C_j = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{l_d}$$

$$H(f) = \frac{M(f)}{M_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f M_0 \tau)^2}}$$

$$B = \frac{1}{2\pi \tau M_0}$$

Odbiorniki optyczne – właściwości

Metodyka projektowania sieci optycznych, Wybór technologii i elementów, wpływ na właściwości systemu Wybrane problemy praktycznej realizacji sieci FTTH, wielowariantowość sieci dostępowych

