

Sieci optoelektroniczne

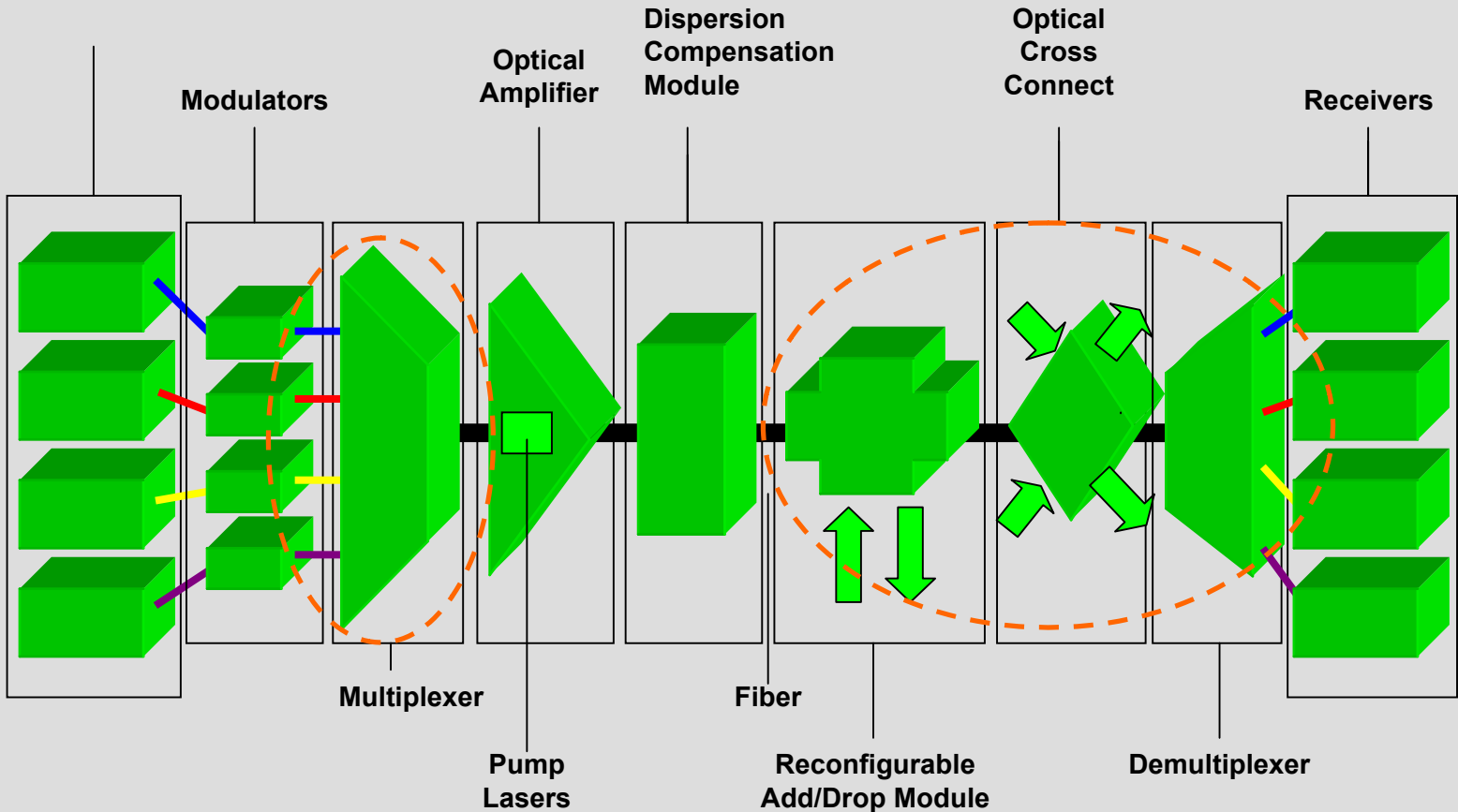
Wykład 7: „Technologie komutacji dla sieci optycznych”

dr inż. Walery Susłow



Komponenty optyczne w sieci informatycznej

Transmitters



Source: Corning and Needham & Co.



Ewolucja w systemach komutacji

- ✓ Dostęp do znacznych przepływności sieci optycznych o szybkościach między węzłami komutacyjnymi sięgających terabajtów na sekundę wymusza wprowadzanie coraz to nowych urządzeń transmisyjnych i nowocześniejszych systemów komutacji.
- ✓ W niedalekiej przyszłości "wąskim gardłem" telekomunikacji staną się nie trakty komunikacyjne, lecz same węzły przełączające, już teraz coraz częściej rozmieszczane na obrzeżach infrastruktury sieciowej.
- ✓ Ukoronowaniem kompleksowej oferty terabitowych sieci optycznych jest równoczesna implementacja w nich całkowicie przezroczystych przełączników światła, spełniających funkcję dotychczasowych węzłów komutujących OXC (Optical Cross Connect).



Sieci w pełni optyczne

Do stworzenia i wprowadzenia sieci w pełni optycznych w najniższej warstwie transportowej dąży się po to, aby umożliwić:

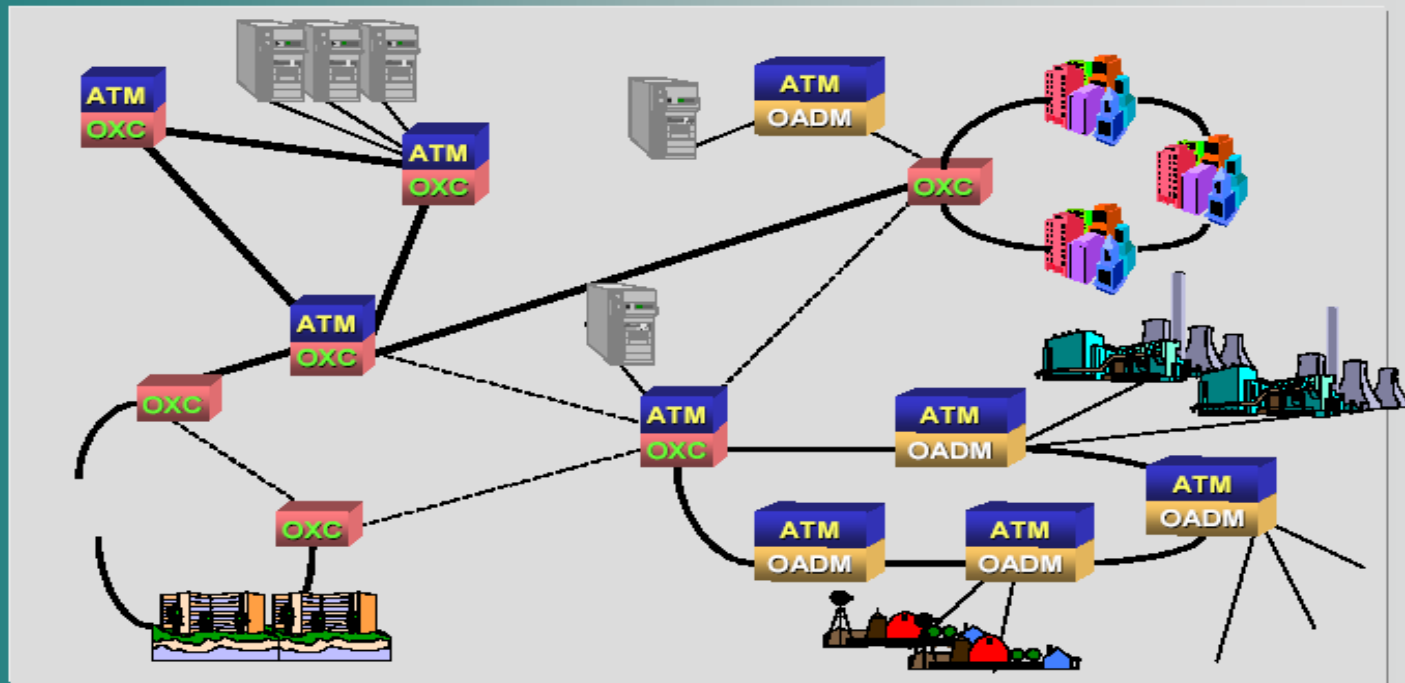
- budowanie sieci z bardzo szerokim pasmem transmisyjnym,
- niezależność od wyższych warstw i protokołów tych warstw,
- prostotę funkcjonalną i dużą niezawodność sieci.

Wykorzystanie wszystkich możliwości sieci światłowodowych można osiągnąć dopiero po wyeliminowaniu ograniczającej szerokość pasma konwersji sygnału optycznego na elektryczny. Eliminacja taka jest obecnie możliwa dzięki opracowaniu optycznych przełącznic OXC (Optical Crossconnects) i krotnic transferowych OADM (Optical Add-Drop Multiplexers).

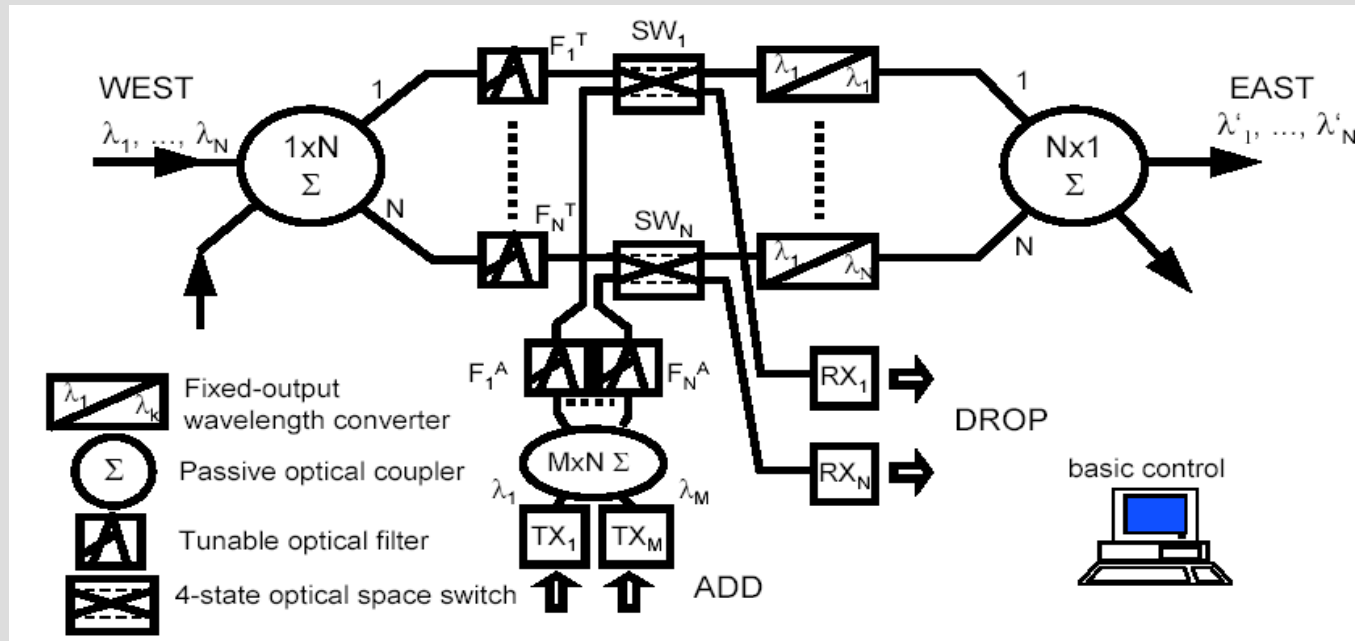


Sieci w pełni optyczne, cd.

Optyczna sieć miejska



Sieci w pełni optyczne, cd.

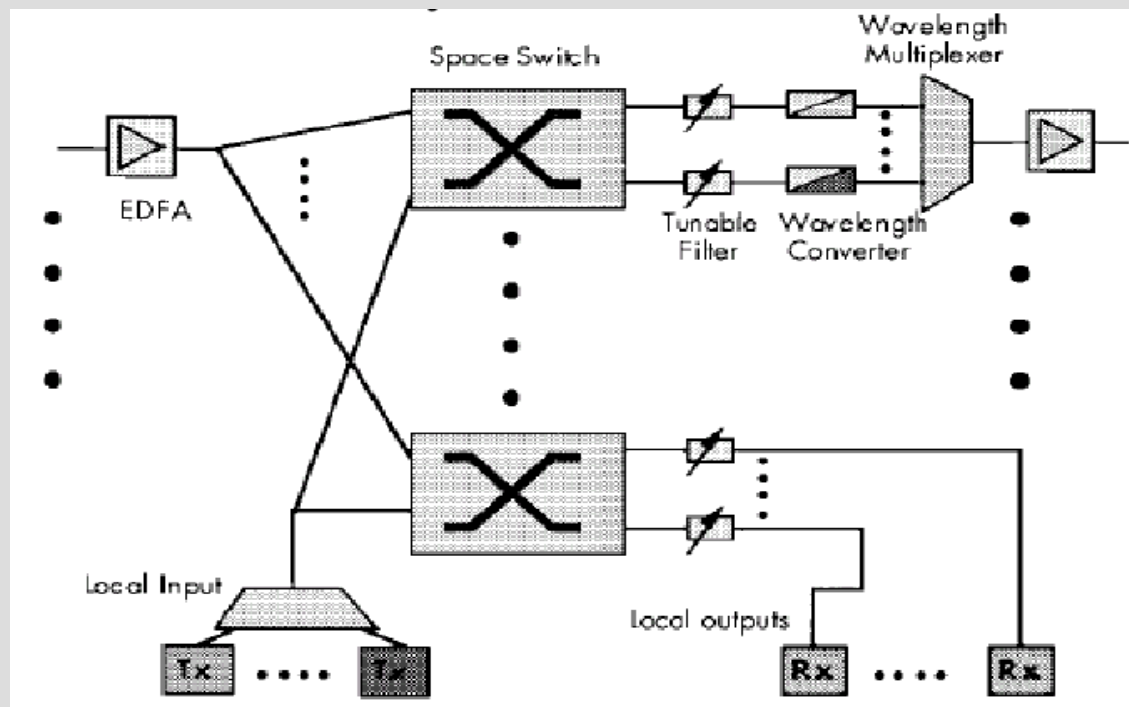


OADM: 4 kolory x 2.5 GB/s (STM-16), strojone filtry Fabry–Perota, przełączniki optomechaniczne, regeneracja optoelektroniczna 3-R.

Eksperyment: trzy węzły połączone w dwuwłóknowym samonaprawczym pierścieniu. Węzły połączone przez 90 km standardowego światłowodu jednomodowego.



Sieci w pełni optyczne, cd.

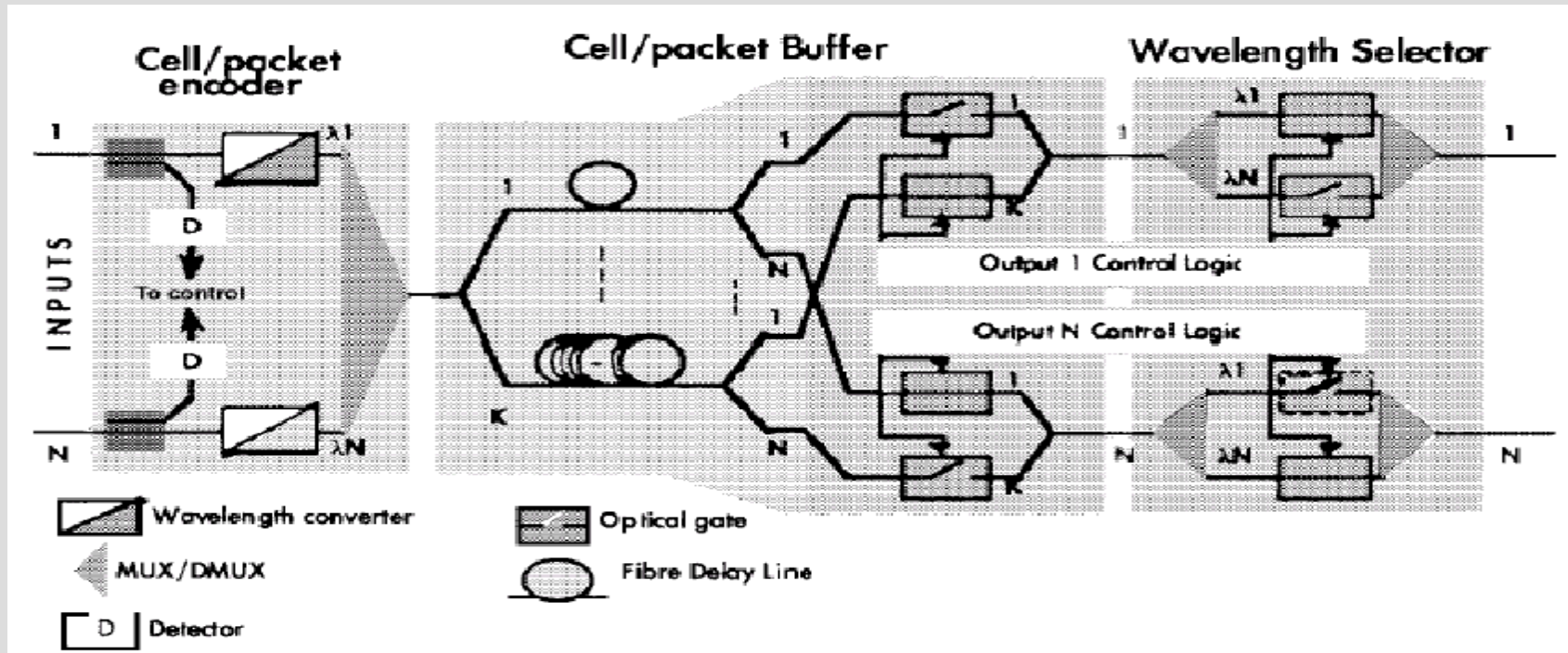


OXC: układ umożliwia całkowicie nie blokujący broadcasting i multicasting, i jest oparty na prostych macierzach przełączających o niewielkich rozmiarach. Zastosowano wzmacniacze światłowodowe z ograniczonym wzmocnieniem jako przełączniki przestrzenne, i całkowicie optyczne półprzewodnikowe konwertery długości fali.

Eksperyment: kaskada dwóch 4x4, ośmiokolorowych OXC, 320 km standardowego światłowodu jednomodowego (BER 10-15 przy 10 Gb/s).



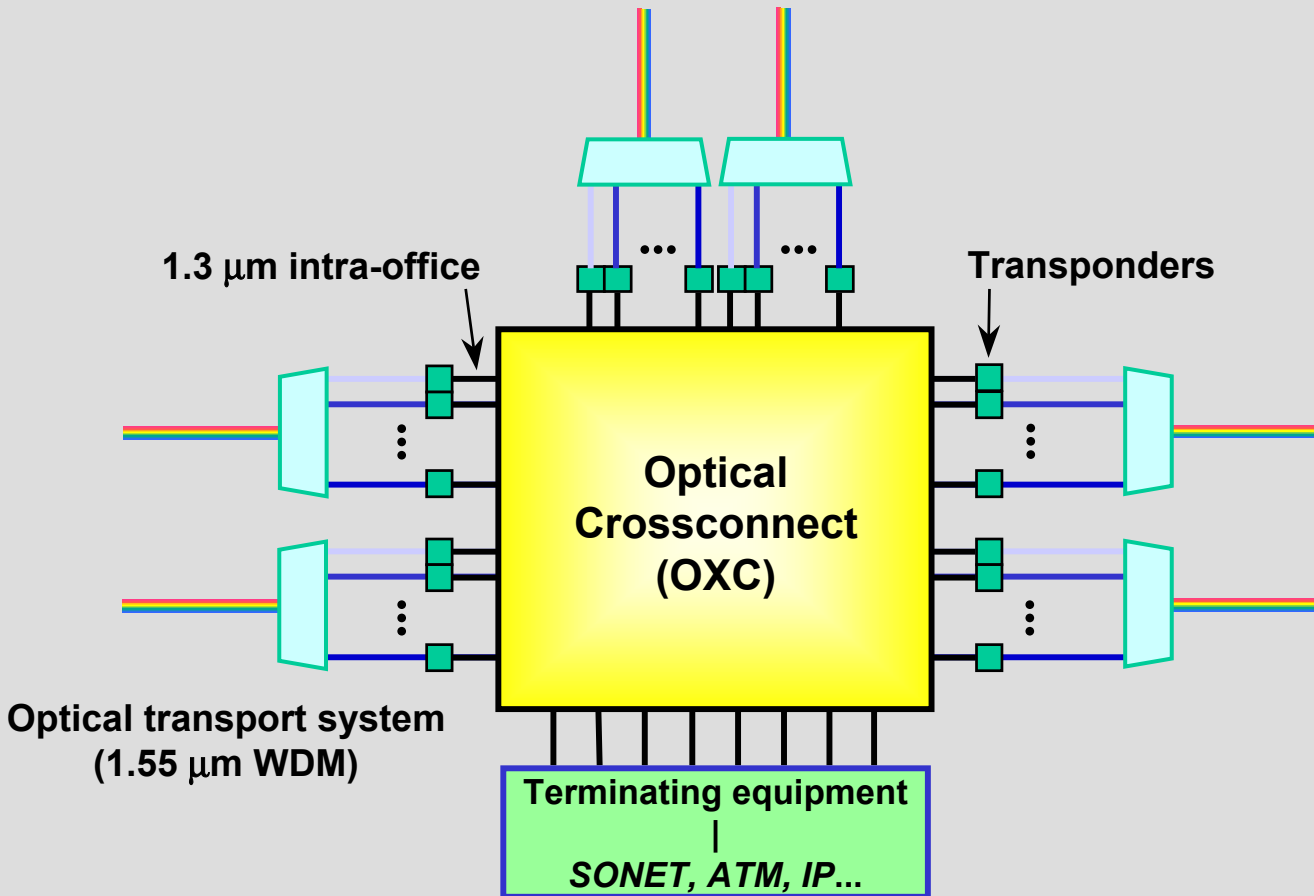
Sieci w pełni optyczne, cd.



Optyczne przełączanie pakietów: matryce przełączników w krzyżowym przełączaniu pakietów (optical packet cross-connect) muszą się przekonfigurować synchronicznie z przepływem pakietów, z typowym czasem rekonfiguracji ~ns. Problem rywalizacji o dostęp (natłok), powstający gdy dwa pakiety chcą osiągnąć jednocześnie ten sam adres jest rozwiązywany za pomocą pamięci optycznych (linie opóźniające).



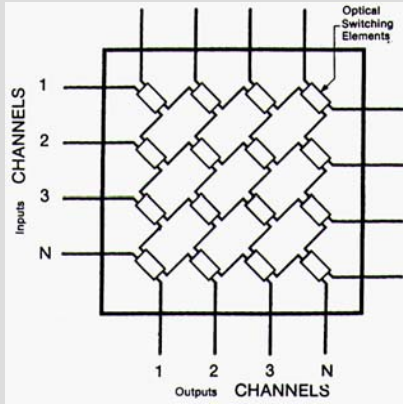
Multiwavelength Opaque Optical Networks



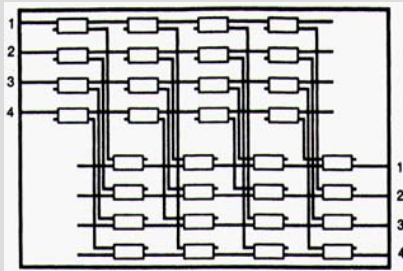
E. L. Goldstein, J. A. Nagel, J. L. Strand, and R. W. Tkach, "Multiwavelength opaque optical-crossconnect networks," Lightwave, Feb., 1998



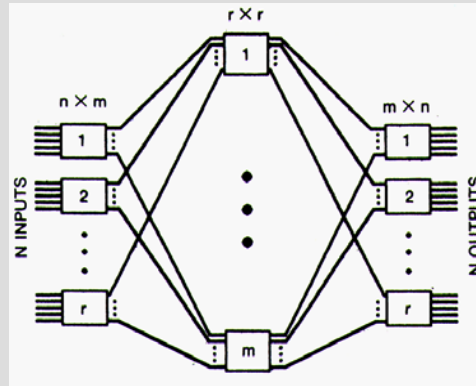
Optical switching architectures



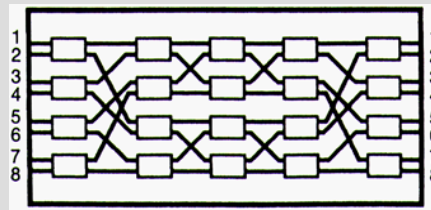
Crossbar



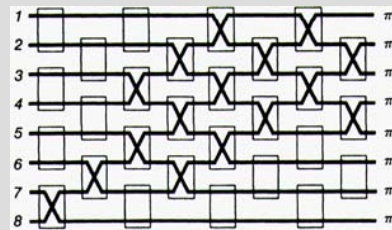
Double Crossbar



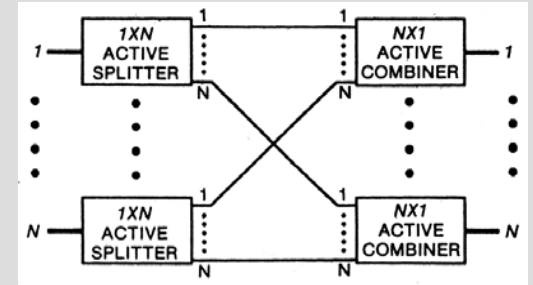
3-Stage Clos



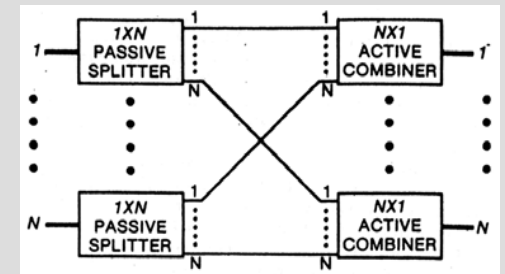
Benes



N-Stage Planar



Type 1



Type 2



Przełączniki optyczne 1550nm LFOS



- Przełącznik optyczny 2x1
- Automatyczny, zdalny lub manualny tryb pracy
- Niezależna kontrola obu wejść optycznych
- Wskaźnik LED stanu przełącznika
- Zarządzanie przez Internet i SNMP (wersja LFOS-P)
- Zarządzanie przez RS232/RS485 (wersja LFOS-S)
- Redundancja zasilania (wersja LFOS-P)



Przełączniki optyczne 1550nm LFOS, cd

- ✓ LightFlash LFOS to przełącznik optyczny stosowany jako podstawowy element redundantnej architektury pierścieniowej w sieciach HFC.
- ✓ Został zaprojektowany jako dedykowane rozwiązanie dla nowoczesnych sieci HFC transmitujących sygnały CATV, transmisji danych czy telefonii.
- ✓ W przypadku awarii podstawowego łącza optycznego LFOS zabezpiecza ciągłość transmisji poprzez przełączenie się na redundantne łącze optyczne. Przełącznik dostępny jest w dwóch wersjach: Premium (LFOS-P) i Standard (LFOS-S), które różnią się interfejsem zarządzania oraz redundancją zasilania.



Terminologia LAN: mosty i przełączniki

- Mosty to urządzenia mające integrować segmenty LAN. Przełączniki najczęściej służą do dołączania pojedynczych użytkowników.
- Mosty funkcjonują zawsze na poziomie warstwy łącza danych, przełączniki zaś na warstwie łącza danych, sieci lub transportowej. Przełączanie na poziomie wyższych warstw używane jest, gdy wymagany jest dostęp do specyficznych usług.
- Ilość portów: jedynym parametrem, który decyduje o tym jest przepustowość magistrali wewnętrznej – struktury służącej do komunikowania pomiędzy portami.
- Przełączniki zapewniają jednoczesność wielu transmisji między wieloma parami użytkowników. Mosty filtrują ruch między segmentami, ich priorytetem nie jest poprawa efektywności funkcjonowania sieci poprzez zwiększenie jej przepustowości.



Terminologia LAN: Routery

Są urządzeniami pracującymi na warstwie sieci, wykonują następujące funkcje:

- marszrutyzacja (trasowanie),
- filtracja pakietów,
- ochrona kryptograficzna transmisji,
- rozszerzona diagnostyka sieci,
- optymalizacja przepływów,
- translacja protokołów.

Wady routerów - wysoka cena, konieczność wykorzystania oprogramowania, ograniczenia związane z szybkością działania.



Przełączniki optyczne

- ✓ Przełącznik optyczny foniczny (OOO) zachowuje optyczną formę sygnału, dla każdej szybkości i protokołu transmisji. Przełączniki optyczne mogą rozdzielać sygnał (kanały transmisji) ze względu na długość fali i przesyłać je do różnych portów.
- ✓ Przełącznik optyczny elektroniczny (OEO) łączy linie światłowodowe za pośrednictwem urządzeń optoelektronicznych. Sygnał foniczny z linii światłowodowej zamieniany jest na sygnał elektroniczny, przełączanie wykonywane jest elektronicznie, po czym sygnał z powrotem zamieniany jest na optyczny i wprowadzany do światłowodu.



Przełączniki optyczne, cd.

Wymagania dla przełączników:

- niezależność polaryzacyjna,
- małe przesłuchy,
- małe straty,
- pożądane wzmocnienie,
- niezależność od długości fali w zakresie pracy wzmacniacza EDFA,
- praca wielofalowa,
- przezroczystość względem szybkości transmisji,
- szybkie przełączanie,
- prostota obsługi i zastosowania,
- skalowalność.



Przełączniki optyczne, cd.

Główne funkcje komutatorów optycznych

- ✓ Ciągłość transmisji
- ✓ Transportowanie danych
- ✓ Testowanie i sterowanie sieci



Przełączniki optyczne, cd.

Przyczyny zainteresowania przełącznikami fonicznymi:

- Ewolucja od łączy WDM point-to-point do sieci całkowicie optycznych.
- Wymagana przezroczystość odnośnie szybkości transmisji i względem protokołu.

Zastosowania przełączników optycznych:

- Ochrona i rekonfiguracja sieci (wymagany czas przełączania poniżej 5ms).
- Sieci foniczne z przełączaniem obwodów (circuit switching, WDM networks, OADM's, OXC's).
- Sieci foniczne z przełączaniem pakietów (wymagany czas przełączania ~1ns).



Przełączniki optyczne, cd.

Klasyfikacja przełączników optycznych:

- ✓ MEMS
- ✓ Przełączniki pęcherzykowe
- ✓ Przełączniki półprzewodnikowe
- ✓ Termooptyczne
- ✓ Elektrooptyczne (optyka zintegrowana)
- ✓ Akustooptyczne

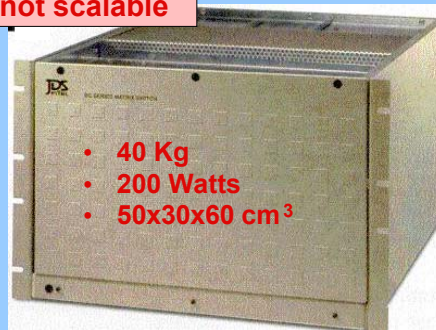


Comparison of Optical Switching Approaches

I-O: Integrated Optics, 3-D: 3D Alignment, 2-D Alignment. +++: Very Good

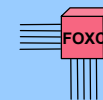
Type of Switch	Metric	Scalability Matrix Switch	Reliability		Performance (Crosstalk, loss)
			Latching	Reliability	
LiNbO ₃	I-O	+	—	+++	—
III-V Waveguide	I-O	+	—	+++	—
Thermal Si/SiO ₂	I-O	+	—	+	—
Thermal Polymer	I-O	+	—	—	—
III-V SOA	I-O	+	—	++	—
Liquid Crystal	3-D	+	—	++	+
Opto Mechanical	3-D	—	+++	+	+++
MEMS – Analog	3-D	+	—	—	+++
MEMS – Digital (FOXC)	2-D	+++	+++	+++	+++

Current Opto-Mechanical Switches are not scalable



DARPA
NGI
Program

Proposed Digital MEMS Switch

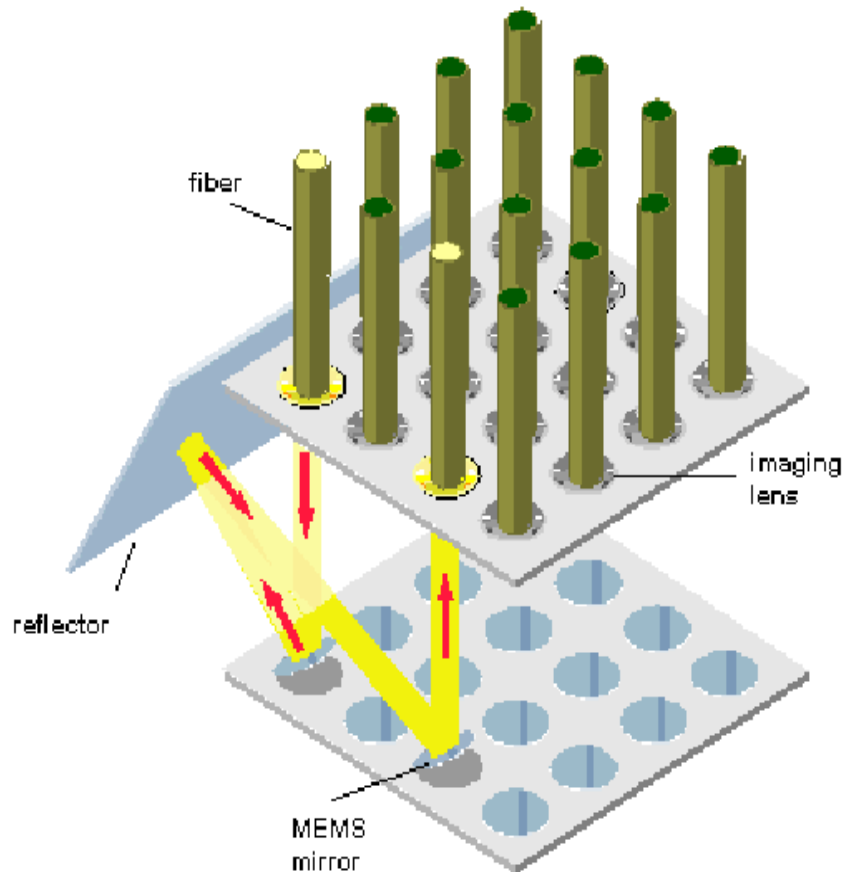


- 0.2 Kg
- 0.2 Watts
- 10x10x2 cm³



Przełączniki mechaniczno-elektryczne MEMS

From Computer Desktop Encyclopedia
© 2000 The Computer Language Co. Inc.



Micro-electromechanical system to miniaturowe urządzenia wytwarzane za pomocą procesów mikroobróbki. Wymiary zawierają się w zakresie od $\sim\mu\text{m}$ do $\sim\text{mm}$. Materiałem wyjściowym jest krzem, obrabiany technologiami mikroelektroniki.

Zalety: małe jednostkowe koszty wytwarzania i możliwość produkcji wielkoseryjnej.

Wady: są układami mechanicznymi.

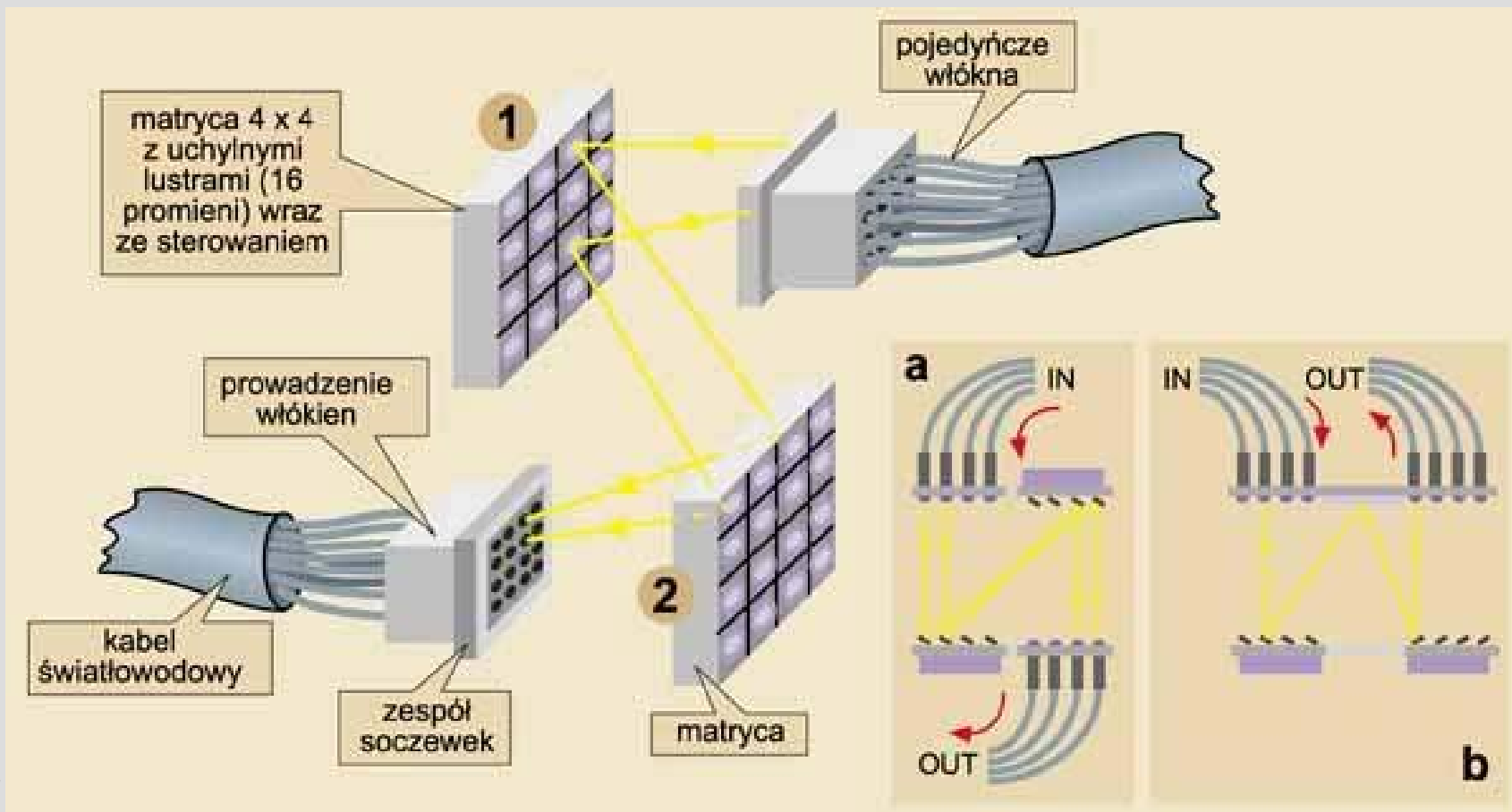


Przełączniki mechaniczno-elektryczne MEMS, cd.

- ✓ Komutacja optyczna za pomocą luster w technologii mechaniczno-elektrycznej Micro-Electro-Mechanical System do krosowania wiązek optycznych w sieciach i traktach terabitowych.
- ✓ W przełącznikach typu MEMS przełączanie strumieni świetlnych dokonuje się za pomocą dwóch współzależnych płaskich matryc mechanicznych z uchylnymi miniaturowymi zwierciadłami osadzonymi na elastycznych wiązadłach półprzewodnikowych, pełniących rolę sprężynek, i sterowanych elektrostatycznie.



Przełączniki mechaniczno-elektryczne MEMS, cd.



Zasada działania przełącznika optycznego MEMS

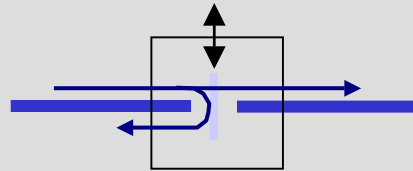


Przełączniki mechaniczno-elektryczne MEMS, cd.

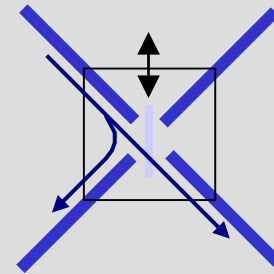
- ✓ W przełącznikach typu MEMS przełączanie strumieni świetlnych dokonuje się za pomocą dwóch współzależnych płaskich i dwuwymiarowych (2D MEMS) matryc mechanicznych z uchylnymi miniaturowymi zwierciadłami o średnicy około 0,5 mm. Są one osadzone na elastycznych wiązkach półprzewodnikowych - pełniących rolę sprężynek z elektrostatycznym sterowaniem.
- ✓ W najnowszych rozwiązaniach używa się komponentów ruchomych przemieszczających się w trzech płaszczyznach (3D MEMS), co umożliwia realizację większej liczby połączeń w tej samej objętości przełącznika optycznego, o kosztach podobnych jak w technologii 2D.



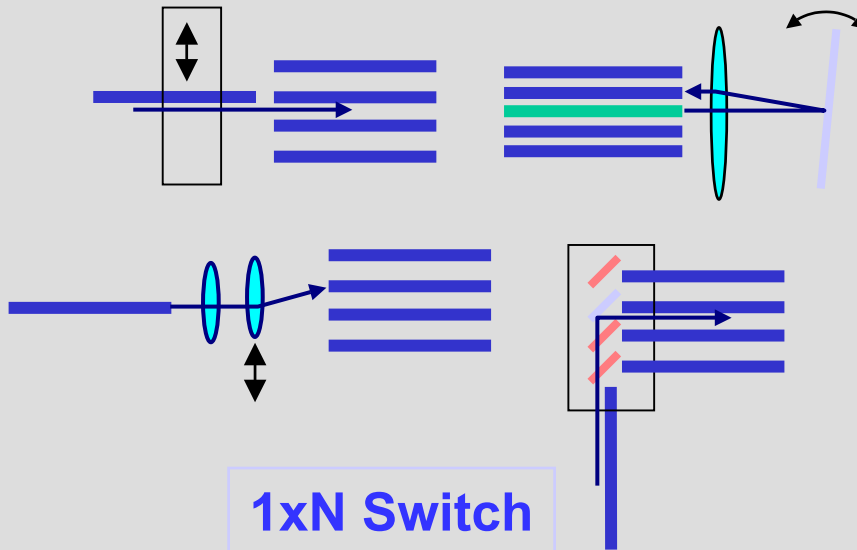
MEMS Switch Architectures



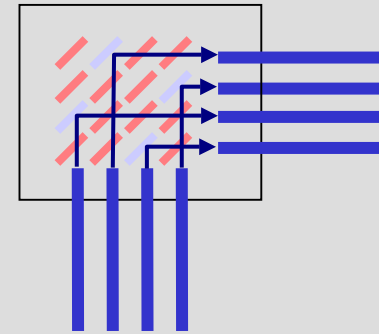
ON-OFF Switch
(optical gate)



2x2 Switch



1xN Switch



NxN Switch

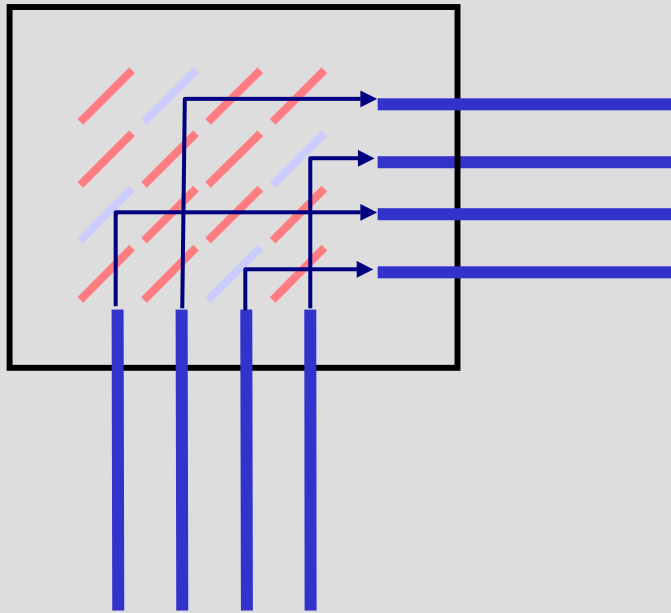


OPTICAL SWITCH ARCHITECTURE

Uniform Array

More compact

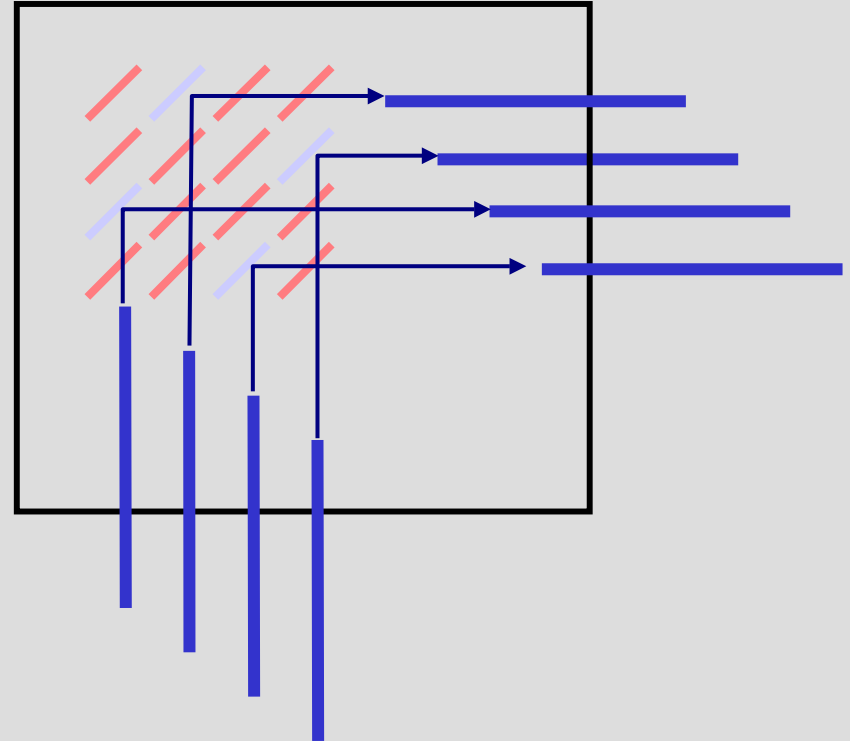
Non-uniform coupling loss



Staggered Array

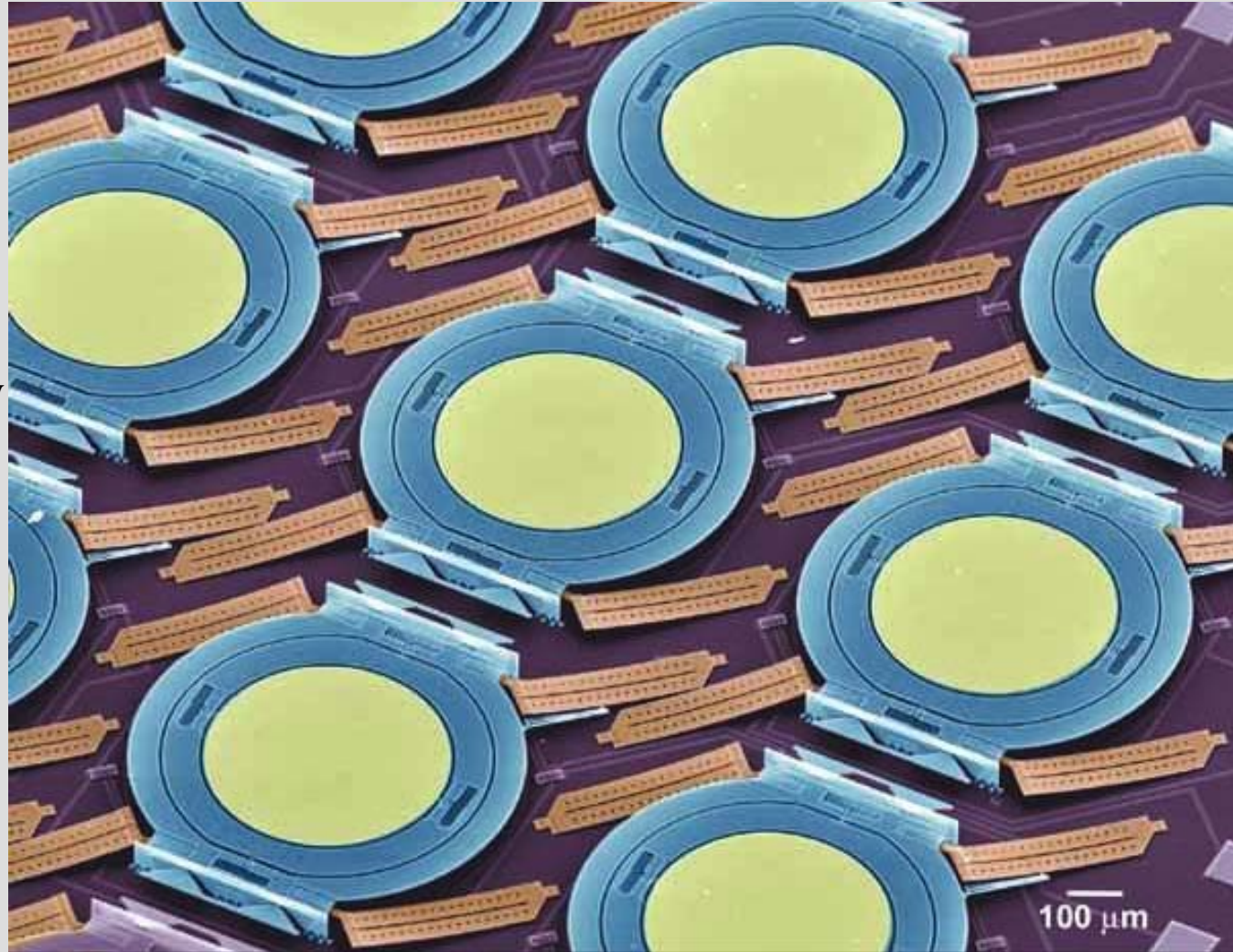
Uniform optical path lengths

Longer collimating distance



Przełączniki mechaniczno-elektryczne MEMS, cd.

Matryca mikroluster w
WaveStar
LambdaRouter
(Lucent Technologies)



Przełączniki mechaniczno-elektryczne MEMS, cd.

- ✓ Zasada działania przełącznika optycznego (1999 r.) WaveStar LambdaRouter polega na odbijaniu wiązki promieni świetlnych za pomocą dwóch zespołów z miniaturowymi ruchomymi lustrami umieszczonymi w matrycy 16x16 (łącznie 256 promieni) lub w matrycy 32x32 (1024 promienie).
- ✓ Sterowane lustro uchylne są elastycznie wytrawione na powierzchni półprzewodnika (około 1 cm^2), a ich płaszczyzna nachylenia jest sterowana polem elektrostatycznym. Dzięki temu wiązki promieni świetlnych mogą być dowolnie krosowane, bez czasochłonnej konwersji elektrycznej i ograniczania przepływności przełączanych strumieni binarnych.
- ✓ Zbliżoną ofertą dwóch typów przełączników optycznych wykonanych w technologii mikroelektromechanicznej MEMS, dysponują również firmy Corning i Alcatel (CrossLight).



Przełączniki pęcherzykowe

- ✓ Podstawowym budulcem jest specjalny blok pęcherzykowy (bubble technology) do komutowania 32 promieni świetlnych. W tym rozwiązaniu wewnątrz układu wypełnionego specjalnym płynem znajduje się matryca mikroskopijnych kanałów optycznych prowadzących promienie świetlne.
- ✓ Półpłynną ciecz znajdującą się na skrzyżowaniu promieni świetlnych można wielokrotnie podgrzewać za pomocą specjalnych dysz pęcherzykowych, dzięki czemu uzyskuje się lokalną zmianę mikrostruktury powodującej efekt zwierciadła optycznego (bąble), kierującego strumień świetlny do właściwego portu odbiorczego.



Przełęczniki pęcherzykowe, cd.

- ✓ Pojedyncze moduły pęcherzykowe można odpowiednio łączyć w większe zespoły, uzyskując w ten sposób skalowane przełęczniki optyczne o większej mocy przełęczania.
- ✓ Zasadniczym ograniczeniem skalowania mocy przełęcznika &8211; jest kaskadowe łącznie modułów, osłabiające strumień świetlny, co prowadzi do zmniejszenia niezawodności przekazu. Problemem pozostaje również nadmierne nagrzewanie się całego zespołu przełęczającego o większych możliwościach przełęczania, powodując niewłaściwą komutację strumieni optycznych.
- ✓ Ponieważ wytwarzanie dysz do miejscowego podgrzewania cieczy w układach scalonych jest zbliżone do stosowanych już w szybkich drukarkach, sam proces technologiczny optycznego przełęczania pęcherzykowego wydaje się rozwiązaniem znacznie tańszym niż komutacja MEMS.



Przełęczniki pęcherzykowe, cd.

- ✓ Przełęcznik firm Alcatel i Agilent Technologies, przeznaczony jest do realizacji węzłów optycznych typu SXC (Cross-Connect), skalowanych do pojemności 512&61620;512 portów (z których każdy może operować z szybkością 10 Gb/s), testy beta w roku 2001.
- ✓ Kolejna wersja przełęcznika optycznego (2004) już mogła komutować strumienie o przepływności 40 Gb/s w matrycy 4000&61620;4000 zewnętrznych portów światłowodowych.
- ✓ Takie właśnie rozwiązania są potrzebne do efektywnego działania szybkich łącz internetowych, a także do działania coraz liczniejszych aplikacji w sieciach korporacyjnych, wymagających znacznych przepływności o podwyższonej niezawodności. Uzyskanie takich parametrów ma umożliwić bezpośrednio przełączanie wielu kanałów optycznych.



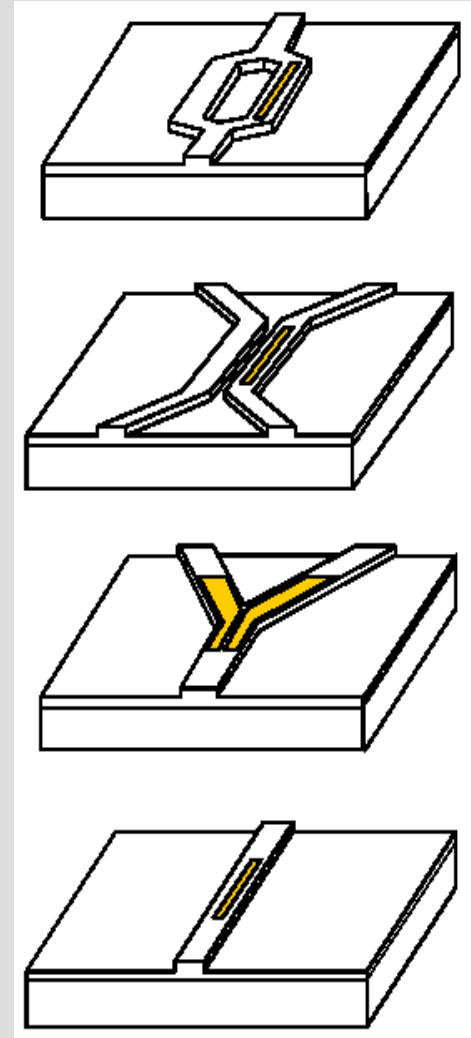
Przełączniki pęcherzykowe, cd.

- ✓ Firma Corning zajmuje się produkcją podzespołów ciekłokrystalicznych dla dwóch produktów optycznych: przełączników optycznych Wavelength Selective Switch, wykonanych w technologii 80 DWDM (przełączanie 80 kanałów optycznych) wraz z zaimplementowaną funkcją wydzielania strumieni ADM, oraz zaawansowanego kompensatora pasma optycznego Dynamic Spectral Equalizer – przeznaczonego do wzmacniania energii świetlnej w światłowodach.
- ✓ Technologie ciekłokrystaliczne mają być stosowane do routingu światła z między kanałami DWDM. Dokładniej oznacza to dowolne komutowanie pojedynczych kanałów optycznych w jednym wielofalowym włóknie światłowodowym.



Przełączniki półprzewodnikowe

- ✓ Przełącznik na interferometrze Macha-Zehndera
- ✓ Sprzęgacz kierunkowy
- ✓ Konwerter modów (binarny przełącznik optyczny)
- ✓ Wzmacniacz półprzewodnikowy (aktywny przełącznik przestrzenny)



Przełączniki półprzewodnikowe, cd.

Struktura podstawowa:

- ✓ Światłowody planarne na podwójnej heterostrukturze
- ✓ Światłowody paskowe grzbietowe, wbudowane lub obciążone paskowe (strip loaded)
- ✓ Heterostruktura InGaAsP/InP lub GaAs/AlGaAs

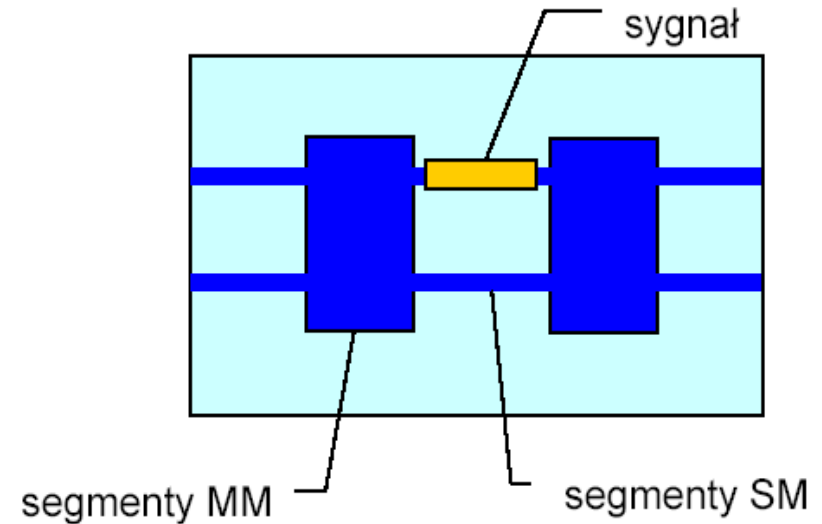
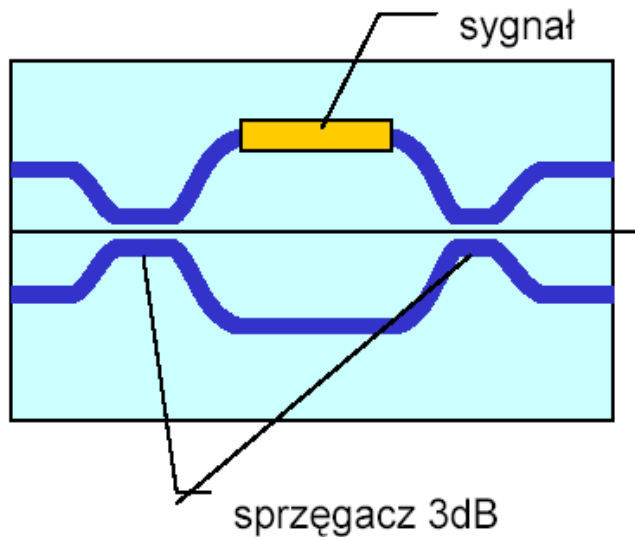
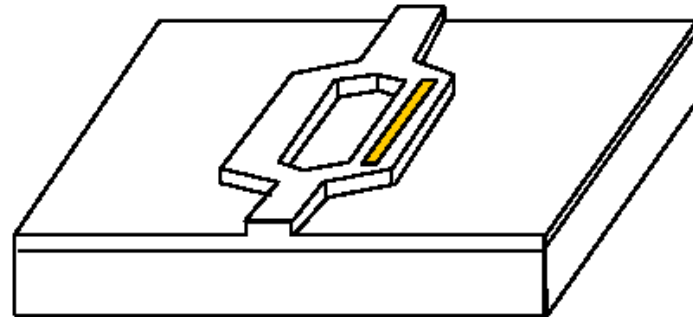
Tłumienie światłowodu wolnego ~ 0.2 dB/cm, tłumienie światłowodu w strukturze (światłowód/kontakty el./doprowadzenia) < 1 dB/cm.

Modulatory są zwykle anizotropowe - konieczne są specjalne konstrukcje dla uzyskania pracy niezależnej od polaryzacji.



Przełączniki półprzewodnikowe, cd.

Interferometr Macha-Zehndera - zasada działania

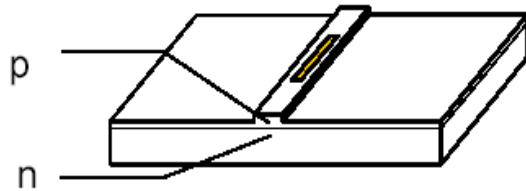


Przełącznik M.-Z ze sprzęgaczem 3dB

Przełącznik M.-Z z rozdzielaczem MMI

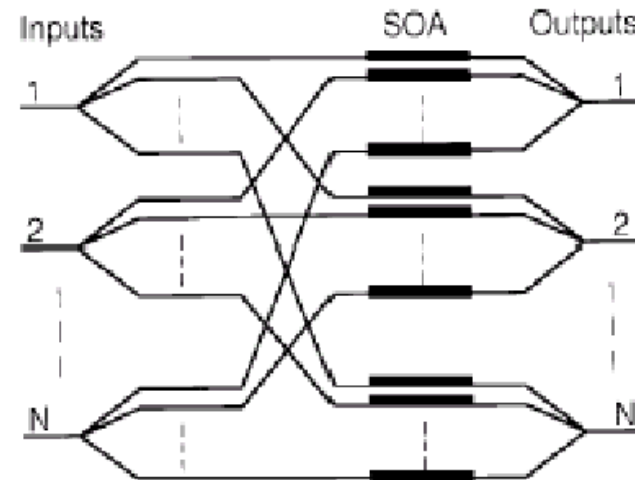


Przełączniki półprzewodnikowe, cd.



Prąd wstrzykiwany do obszaru złącza p-n zmienia współczynnik wzmocnienia/strat w obszarze aktywnego światłowodu. Zjawiska te mogą być podstawą budowy przełączników światłowodowych opartych o półprzewodnikowe wzmacniacze światła. (SOA)

Schemat przełącznika przestrzennego NxN opartego o SOA (układ drzewa).



Czytać

- ✓ M. G. Unger, Telekomunikacja optyczna.
- ✓ S. Patela, prezentacja wykładu: „Przełączniki światłowodowe” (<http://wtm.ite.pwr.wroc.pl/~spatela/>)
- ✓ Terry Ogletree, Rozbudowa i naprawa sieci. – Wyd. Helion, 2001, s. 139-144.

