



Modulateurs électro-optiques intégrés en Niobate de Lithium

01/12/2016, Nicolas Grossard

Sommaire

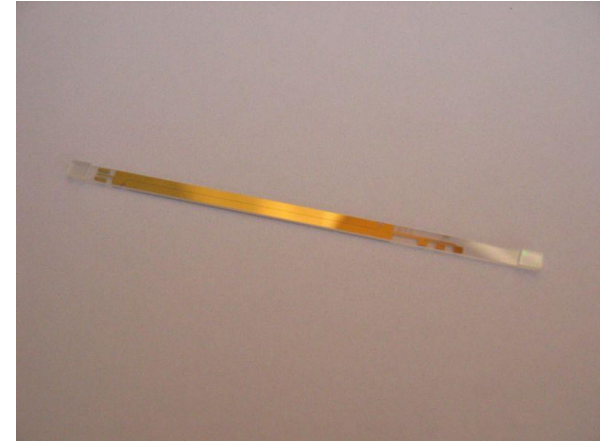
1. Introduction
2. Principe de fonctionnement
3. Produits et applications



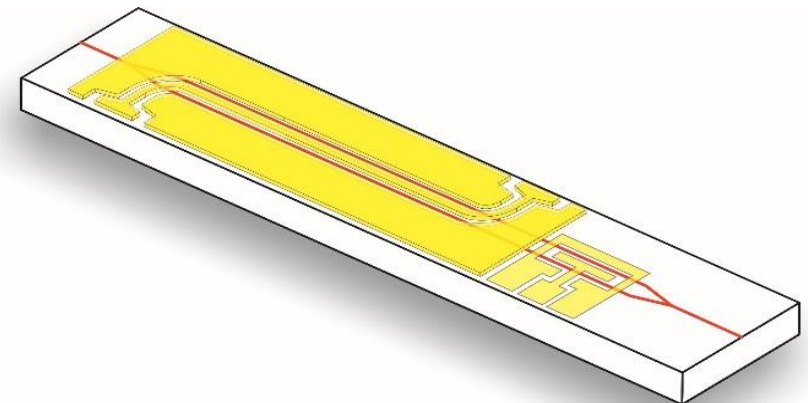
1

Introduction

Modulateurs électro-optique en Niobate de Lithium (LiNbO₃)

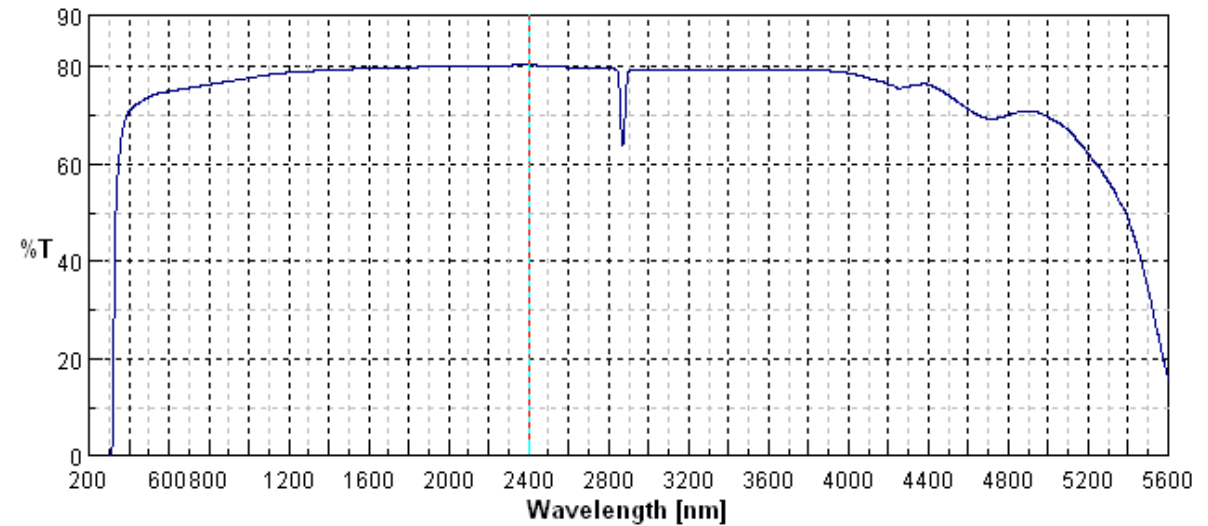


- Optique intégrée planaire.
- Effet électro-optique linéaire (Pockels).
- Modulation de la lumière guidée: phase, amplitude, polarisation.



Pourquoi LiNbO₃?

- Large spectre optique en transmission [400;5000]nm.
- Faibles pertes optiques (2dB-4dB).
- Fiabilité démontrée sur plusieurs décennies.
- Investissement en équipement relativement faible comparé aux autres technologies (Si, InP, AsGa).





2

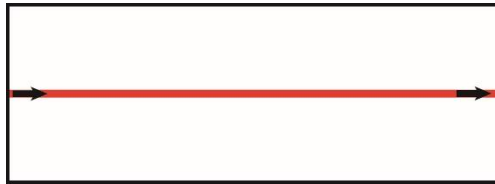
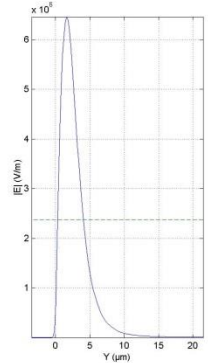
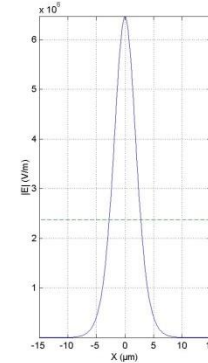
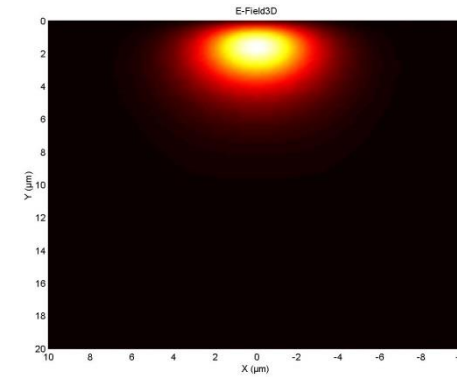
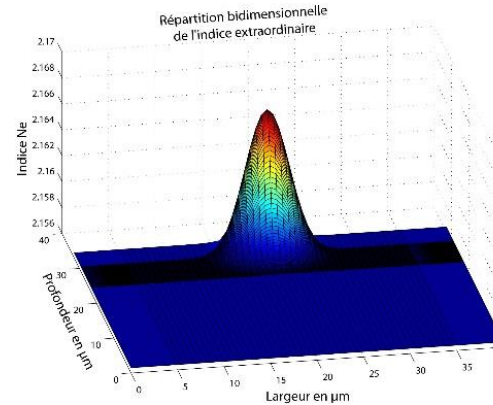
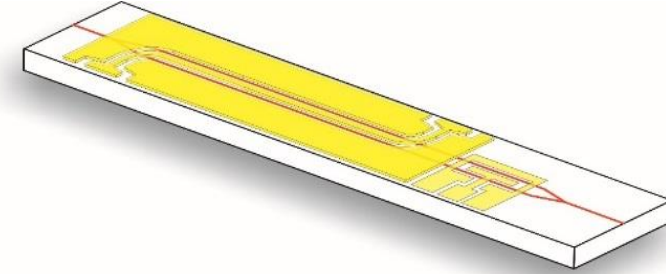
Principe de fonctionnement

Structure optique

Technologie planaire intégrée

- ▶ Augmentation localisée de l'indice de réfraction par rapport au substrat LiNbO_3 .

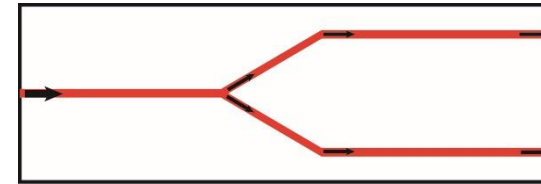
- ▶ Structures typiques:



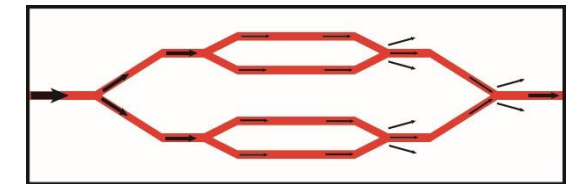
Guide droit
Modulateur de phase ou
polarisation



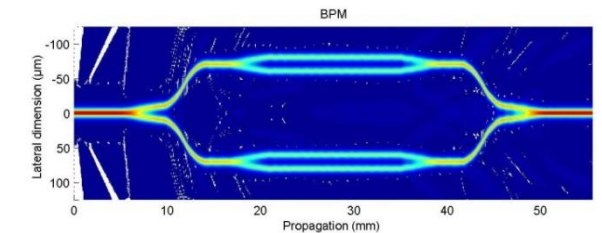
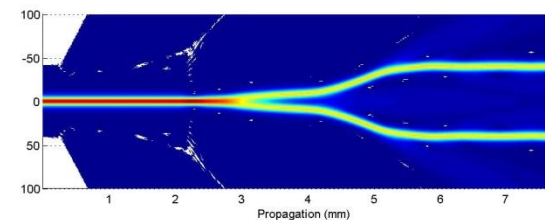
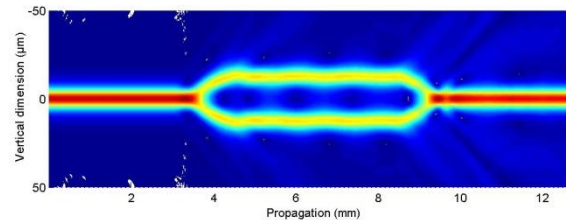
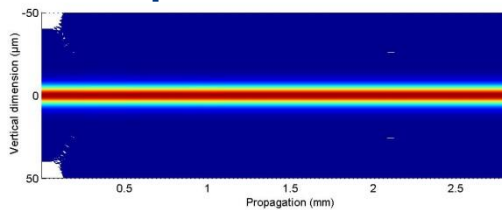
Interféromètre Mach-Zehnder
Modulateur d'amplitude



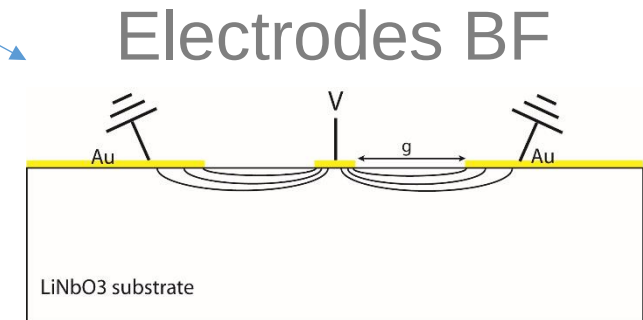
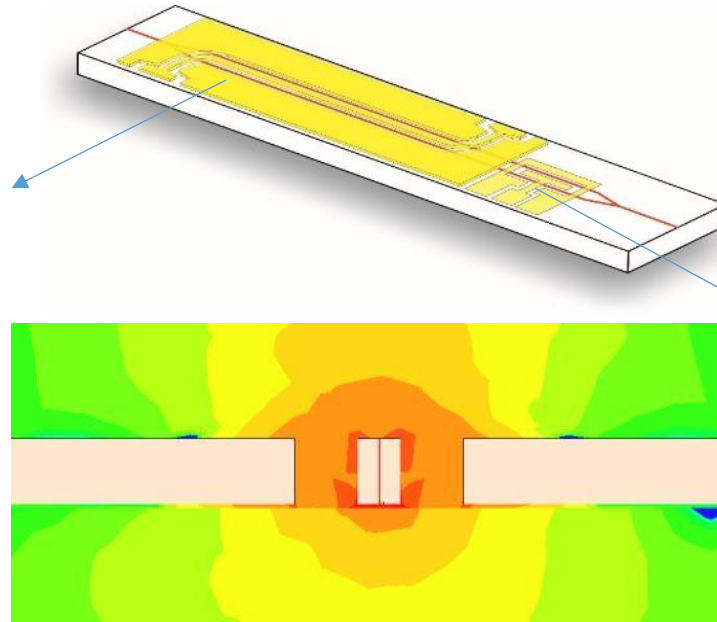
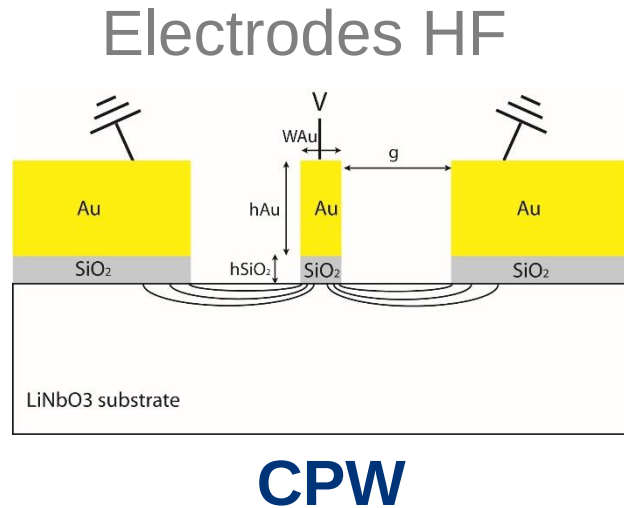
Jonction Y
Modulateur pour gyroscope



MZ parallèles
Modulateurs IQ



Structure électrique

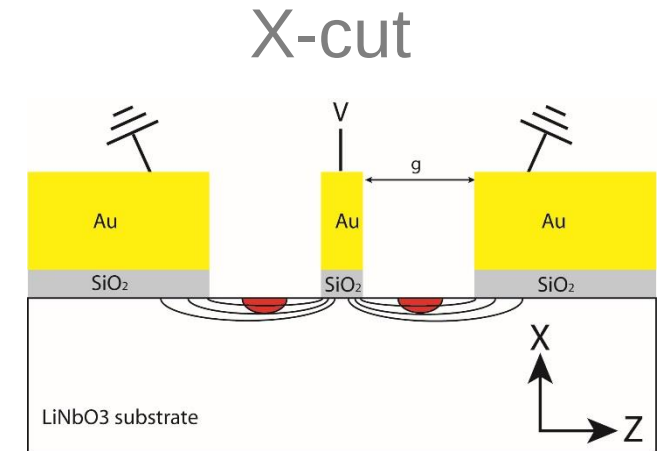
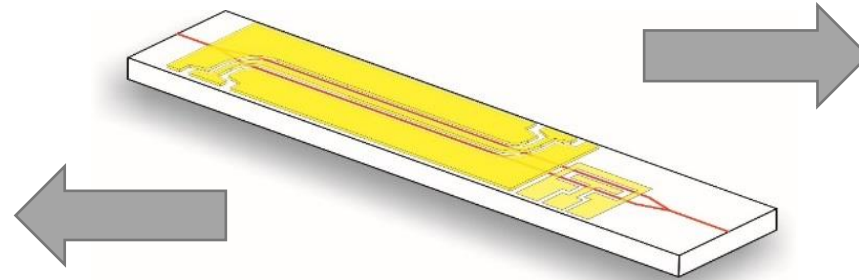
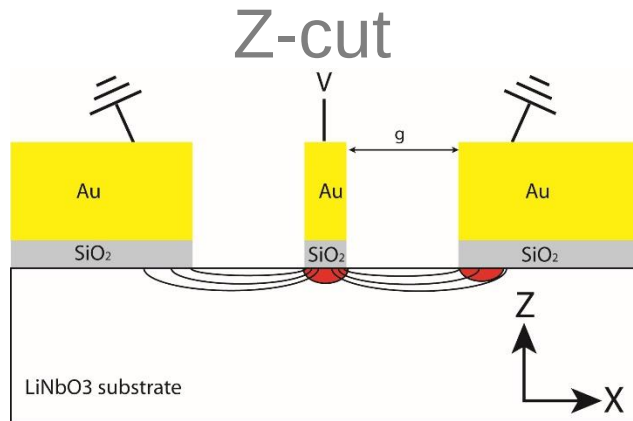


- ~DC -> 60GHz
- Electrodes à ondes progressives.
- 3 caractéristiques principales liées aux dimensions:
 1. Pertes micro-ondes α (S21)
 2. Impédance caractéristique Z_c (S11) -> [40;50] Ω
 3. Indice effectif micro-onde N_μ .

- DC -> 150MHz
- Filtre passe bas RC. $C \sim 10\text{-}30\text{pF}$.
- Ajustement du point de polarisation sur la fonction de transfert électro-optique (quad, min, max).

Structure électro-optique

- ▶ Le niobate de lithium est un cristal anisotrope (X-cut, Z-cut, Y-cut).
- ▶ L'effet électro-optique linéaire dépend de l'orientation des lignes de champ électrique.
- ▶ Le coefficient r_{33} est le plus élevé (30,8pm/V). Champ électrique le long de l'axe Z (indice de réfraction extraordinaire n_e).



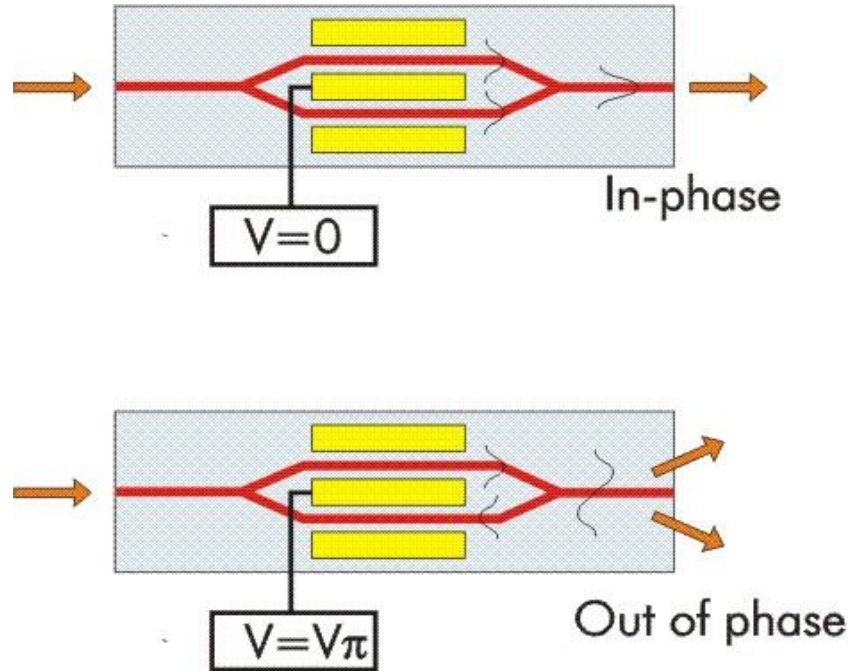
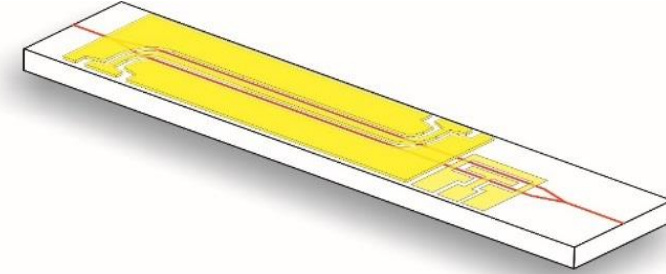
- ▶ L'application d'une différence de potentiel entre les électrodes va créer des lignes de champ électrique qui modifient l'indice de réfraction.
- ▶ La variation d'indice, localisée proche des guides optiques, induit un décalage de phase de l'onde optique.

$$\Delta n(V) = \frac{1}{2} n_e^3 r_{33} \Gamma_{TE/TM} \frac{V}{g}$$

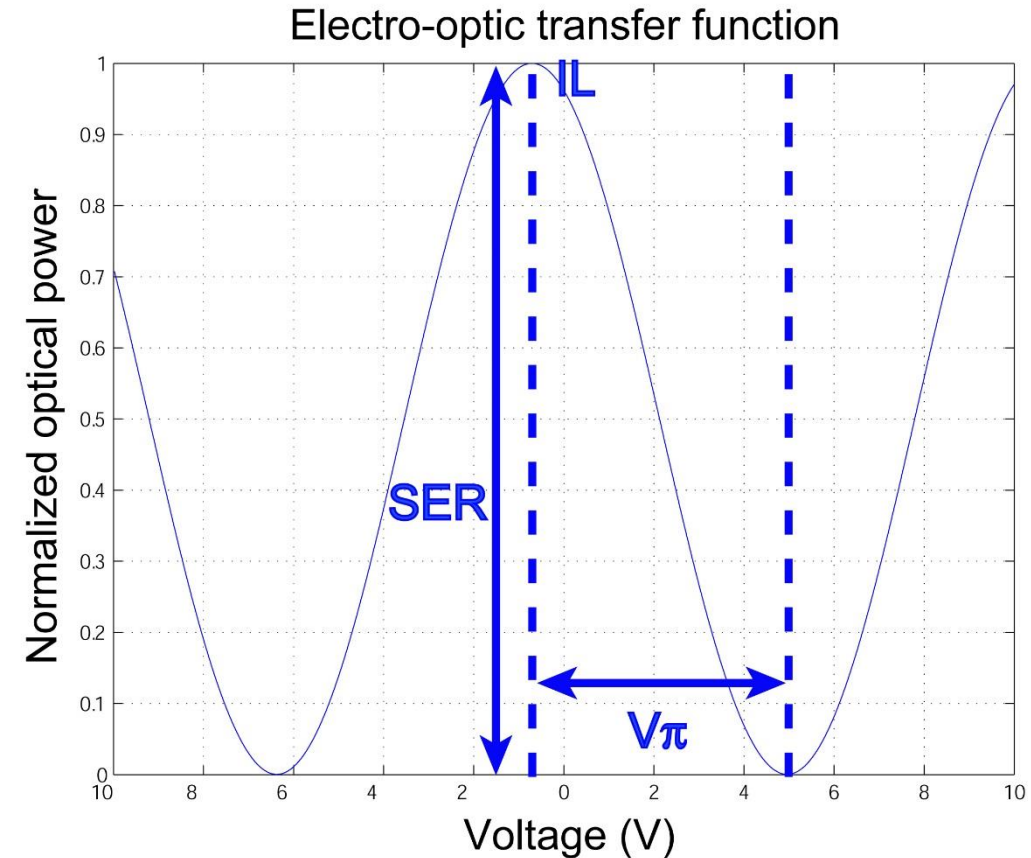
$$\phi(V) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta n(V) \cdot L$$

Structure électro-optique

Modulateur d'amplitude: fonction de transfert



- Interférences entre ondes optiques guidées à l'intérieur d'un interféromètre intégré de type Mach-Zehnder:



$$P(V) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\pi \frac{V}{V\pi} \right) \right]$$

Structure électro-optique

Comment fabriquer un modulateur hautes fréquences efficace?

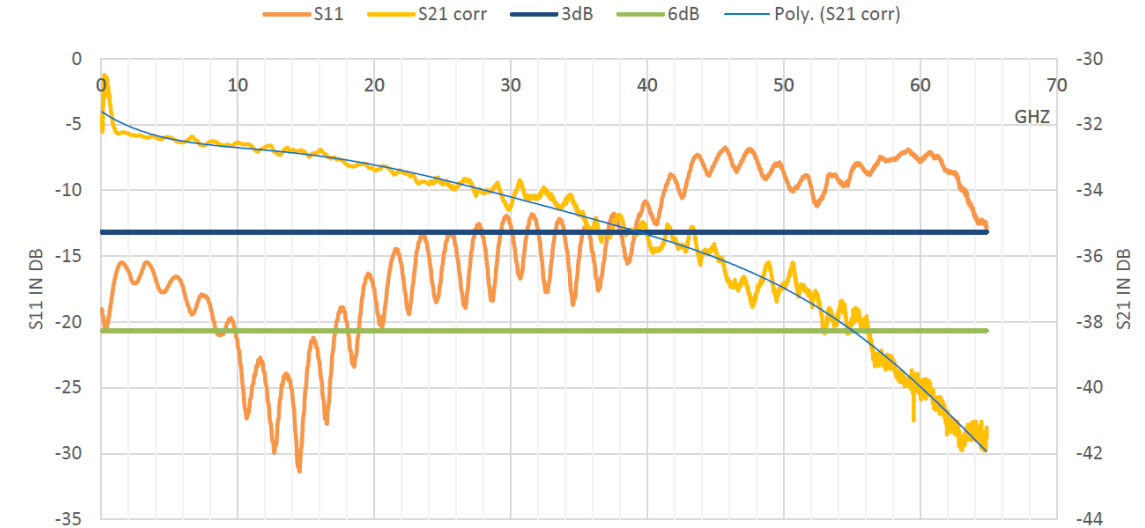
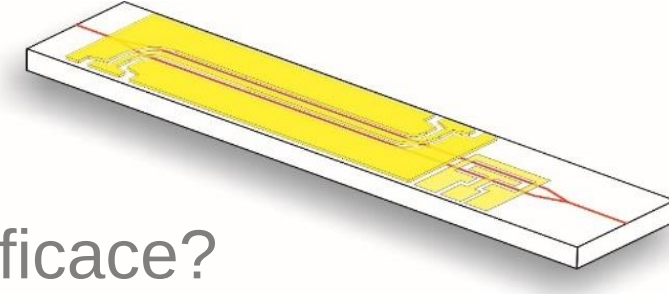
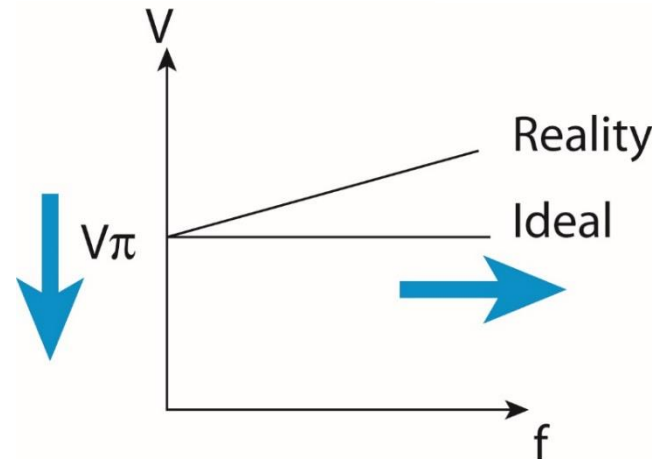
MX-LN-65 Electrooptic Bandwidth, 1550

► Optimiser simultanément:

1. Bande passante électrique (S21e)
2. Impédance (S11)
3. Vitesse de propagation optique/micro-onde ($N_{\mu} = N_e$)
4. Efficacité électro-optique (V_{π})

$$V_{\pi}(DC) = \frac{\lambda g}{n_e^3 r_{33} \Gamma L}$$

$$V_{\pi}(f) = V_{\pi}(DC) \cdot 10^{-\frac{S_{21eo}(dB)}{20}}$$





4

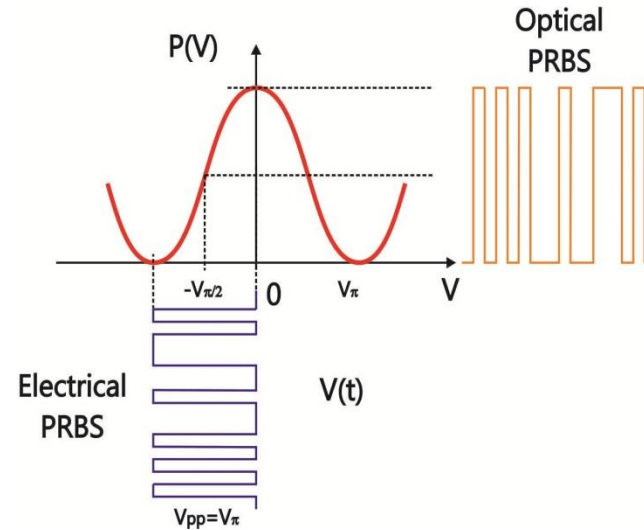
Produits et applications

Transmission: numérique

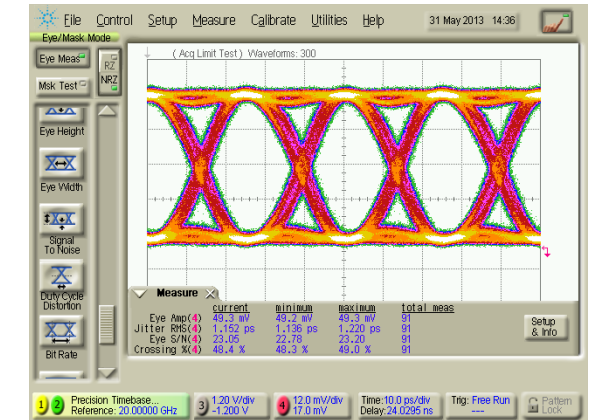
MX-LN-10/20/40G



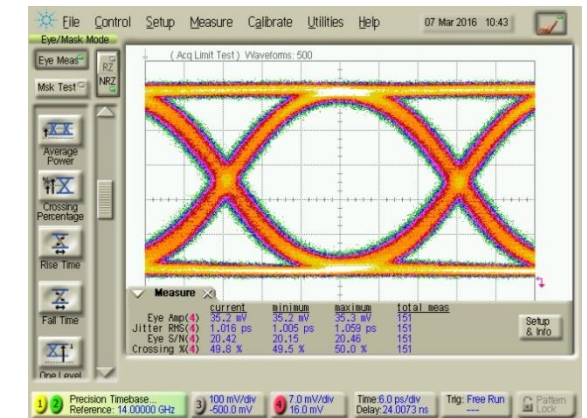
- ▶ Transmissions de données numériques (0 et 1) sous forme optique.
- ▶ Signal électrique sous forme de train d'impulsions.
- ▶ Format OOK de type NRZ (RZ).
- ▶ Formats plus évolués de type DPSK: CS-RZ-DPSK, RZ-DQPSK, ...
- ▶ Modulateurs HF (10-40Gb/s), faible V_{π} ($<5V$), faible chirp (X-cut single drive).
- ▶ Applications: transmissions par fibre optique longues distances et hauts débits.



NRZ



44Gb/s



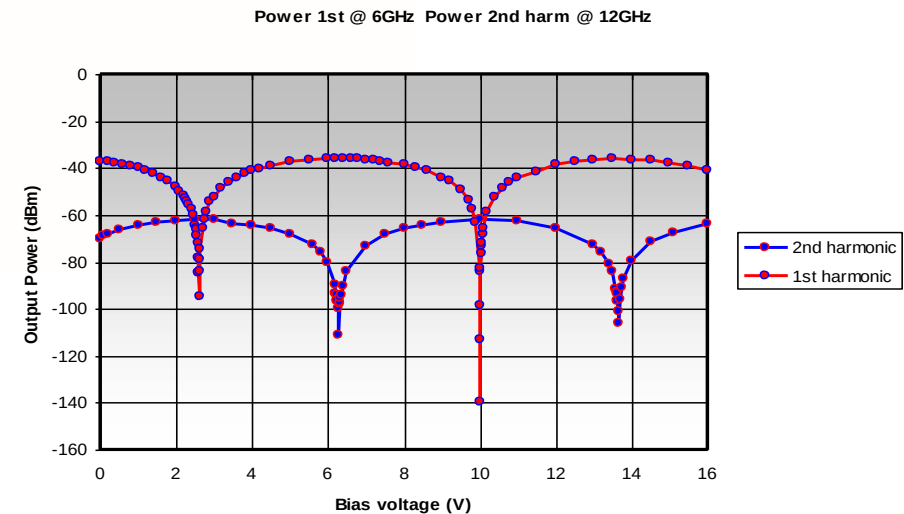
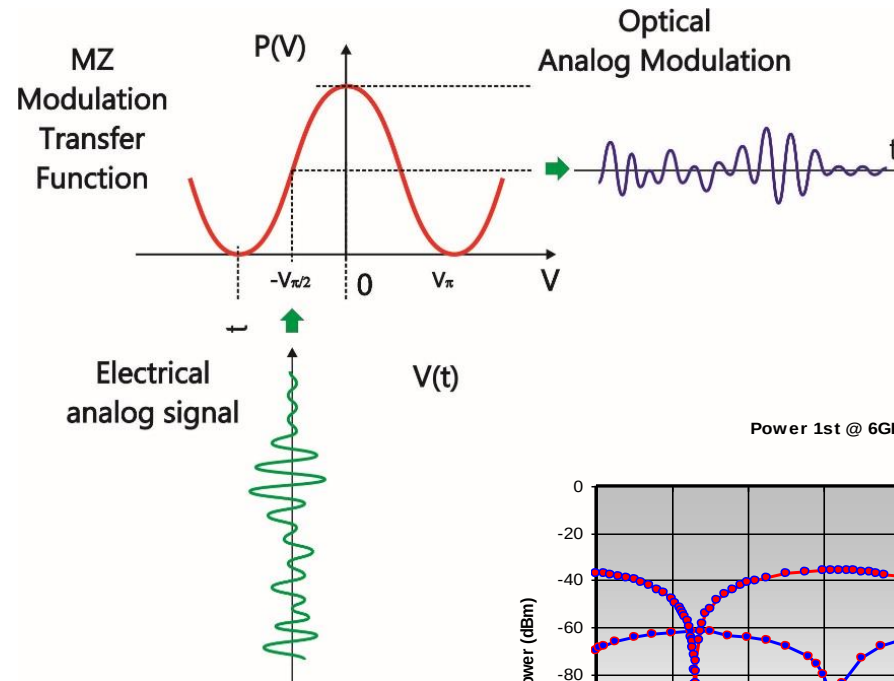
28Gb/s

Transmission: analogique

MXAN-LN-10/20/40G



- ▶ Restitution fidèle du signal électrique sans distorsion.
- ▶ Utilisation de la zone autour du point d'inflexion de la fonction de transfert (quadrature).
- ▶ La qualité est liée à l'apparition des distorsions dues aux harmoniques de 1^{er}, 2^{ième}, 3^{ième} ordre.
- ▶ Modulateur HF (20-40GHz), faibles pertes (3dB) avec filtre en polarisation pour rejeter la seconde harmonique.
- ▶ Application: radio sur fibre, espace et défense.

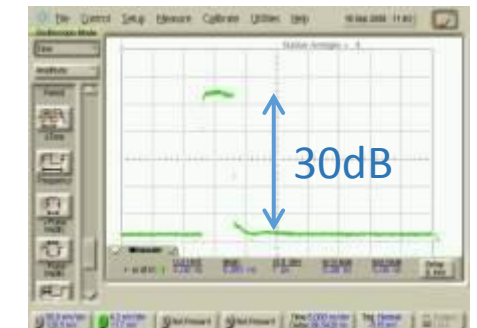
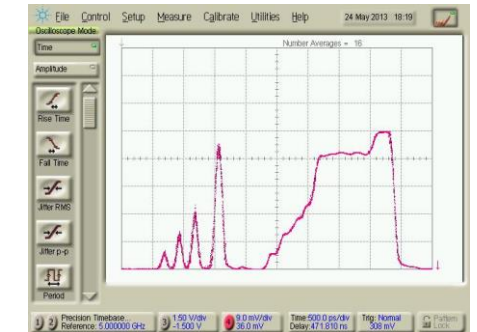
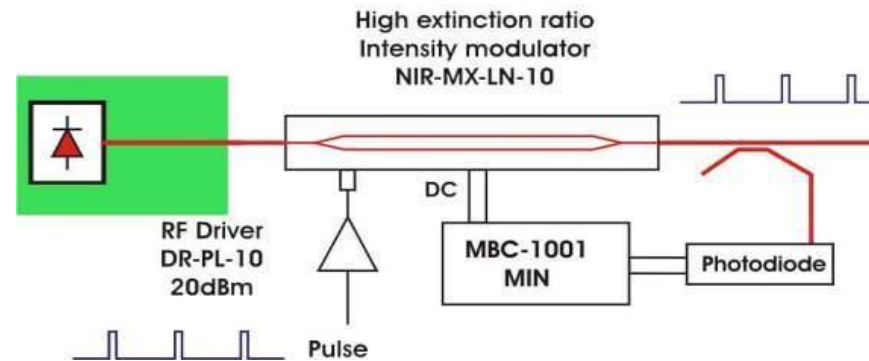
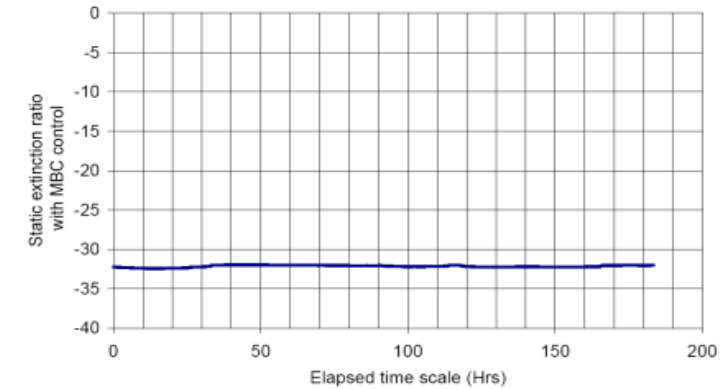
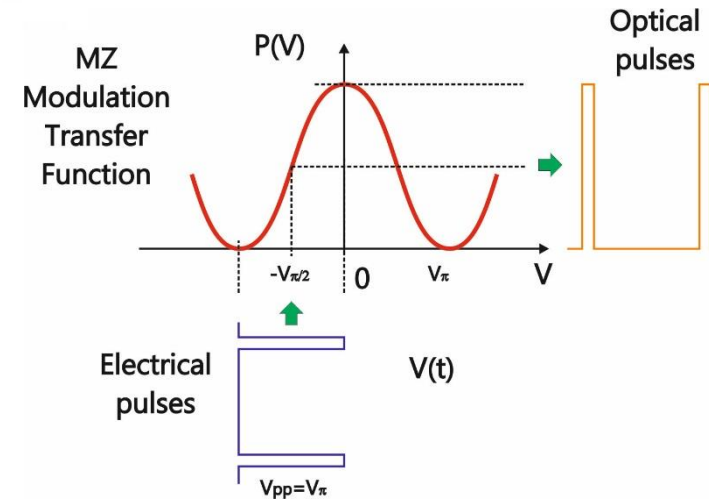


Laser: impulsions optiques

NIR-MX-LN-10



- ▶ Impulsion optique isolée courte (100ps-1ns) avec taux de répétition de 1:100 à 1:10000.
- ▶ Modulateur polarisé au minimum de la fonction de transfert électro-optique.
- ▶ Le niveau zéro optique doit être le plus faible possible (SER>30dB, 40dB, 50dB).
- ▶ Modulateurs HF (1GHz/20GHz) à fort taux d'extinction concernés. Capables de supporter de la puissance optique (>100mW) @ 1 μ m.
- ▶ Application: laser à fibre en association avec une chaîne d'amplification, pulse picking, pulse shaping.

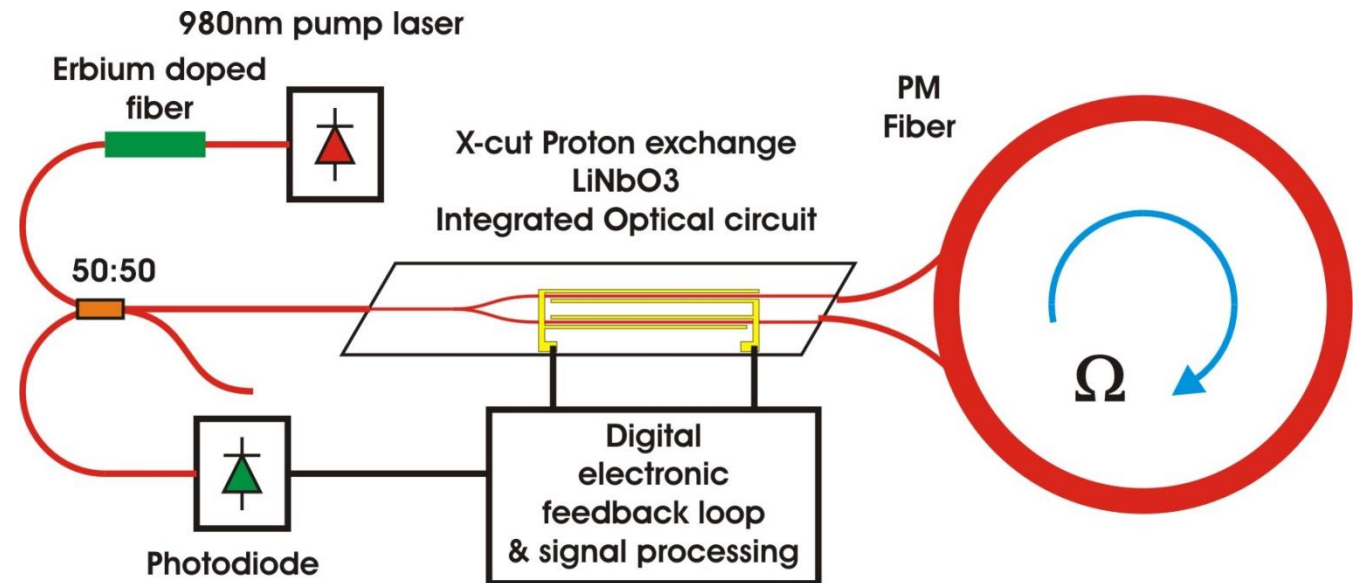


Capteur: gyroscope à fibre optique

Y-JPX-LN-01



- Interféromètre de Sagnac
- La rotation de la bobine introduit un déphasage entre les ondes circulant en sens opposé.
- Mesure de la vitesse de rotation.
- Le modulateur intégré sert de séparateur 50/50 et recombineur actif.
- Avantage: fort PER, propagation monomode, faibles pertes optiques.
- Application: instruments de navigation Haute précision (0,0001deg/h).

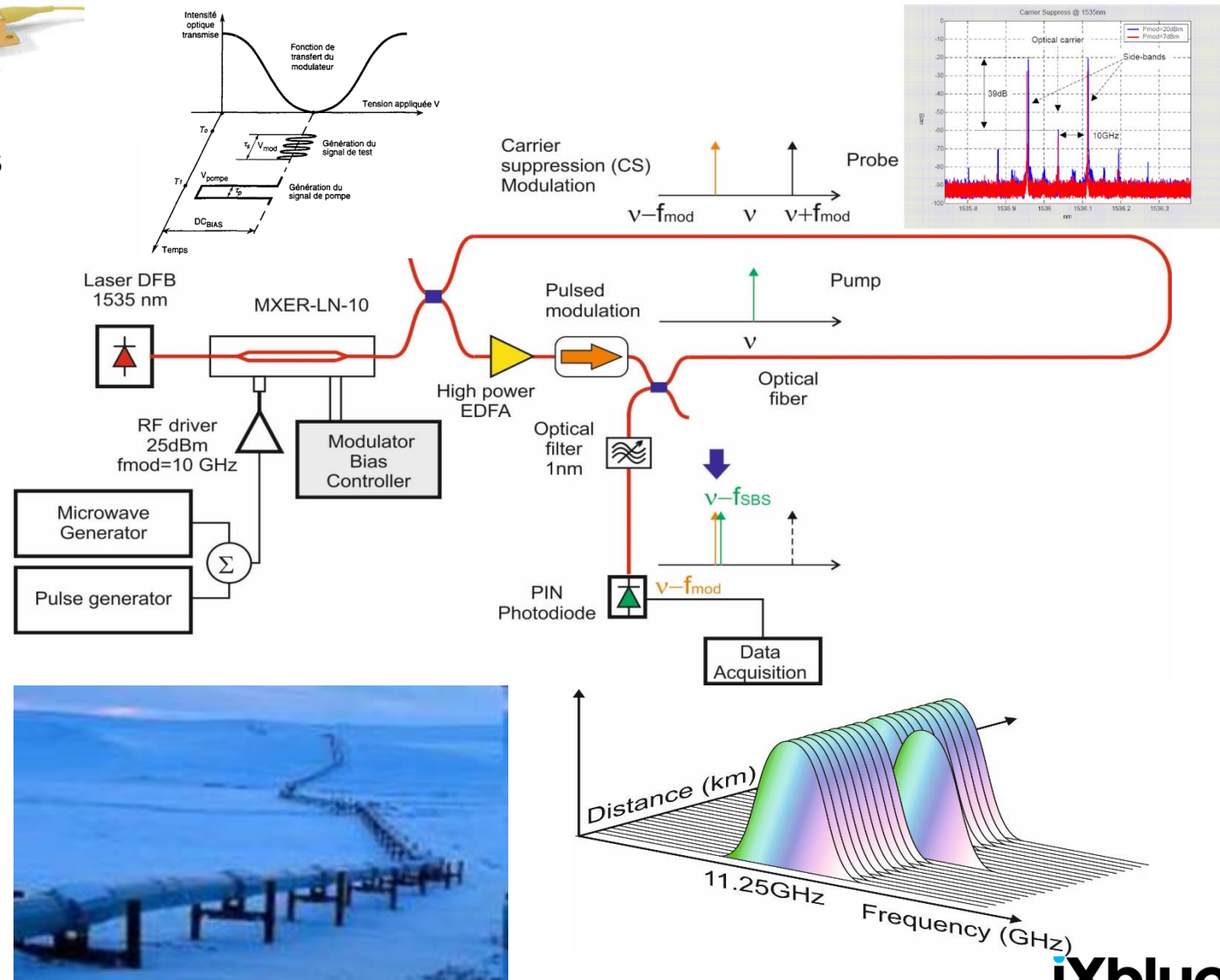


Capteur: contrainte, température dans les fibres optiques

MXER-LN-10



- ▶ Interaction lumière/matière dans les fibres optiques (rétrodiffusion Brillouin).
- ▶ Détection de déformations et variations de température par décalage de fréquence Brillouin (11GHz).
- ▶ Modulation en bandes latérales avec suppression de la porteuse optique (sonde).
- ▶ Modulateur d'amplitude HF (>11GHz) à fort SER (>40dB) et faible pertes (3dB).
- ▶ Résolution de 1m sur 50km.
- ▶ Application: diagnostic et surveillance à distance d'ouvrages du génie civil (barrages, ponts, pipelines...)



Instrument: Modbox



Telecom Reference transmitter

OOK - NRZ
850nm - Up to 50 Gb/s
MODBOX-850NM-NRZ SERIES

OOK - NRZ
O-Band - Up to 50 Gb/s
MODBOX-OBAND-NRZ SERIES

OOK - NRZ
1310nm & 1550nm - Up to 50 Gb/s
MODBOX-1310NM-1550NM-NRZ SERIES

OOK - NRZ
C-Band - Up to 50 Gb/s
MODBOX-CBAND-NRZ SERIES

OOK-NRZ Stress Eye
O-Band - 28 Gb/s
MODBOX-OBAND-NRZ-SE

OOK-NRZ Stress Eye
850nm - 28 Gb/s
MODBOX-850NM-NRZ-SE

Optical VNA
850nm - 40 GHz
MODBOX-850NM-VNA

Optical VNA
O-Band - 40 GHz - 65 GHz
MODBOX-OBAND-VNA

Optical VNA
C-Band - 40 GHz - 65 GHz
MODBOX-CBAND-VNA

DPSK
C-Band - Up to 28 Gbauds/s
MODBOX-CBAND-DPSK

QPSK & QAM
C-Band - Up to 64 Gbauds/s
MODBOX-CBAND-IQ

Analog optical transmitter

Optical VNA
850nm - 40 GHz
MODBOX-850NM-VNA

Optical VNA
O-Band - 40 GHz - 65 GHz
MODBOX-OBAND-VNA

Optical VNA
C-Band - 40 GHz - 65 GHz
MODBOX-CBAND-VNA

Optical - AN
C-Band - 40 GHz
MODBOX AN 40GHZ

CS - SSB
NIR Up to 2 μ m ; Up to 40 dB
MODBOX 1550NM CS SSB

Merci

<https://photonics.ixblue.com>