

On rappelle ici les valeurs des quelques constantes universelles / We recall here the values of some universal constants : $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$.

Exercice 3.1. [4, 4.1]

Calculer la détectivité d'une photodiode PIN aux longueurs d'onde 1300 et 1550nm. Pourquoi la photodiode serait-elle plus réactive à la longueur d'onde 1550nm ? *Calculate the responsivity of a PIN photodiode at 1300 and 1550 nm if the quantum efficiency is 80%. Why is the photodiode more responsive at 1550 nm?*

Exercice 3.2. [8, xple 8.1]

Lorsque 3×10^{11} photons, chacun avec une longueur d'onde de 850 nm, arrivent sur une photodiode, une moyenne de 1.2×10^{11} électrons sont collectés aux bornes du composant. Déterminer le rendement quantique et la détectivité de la photodiode à 850 nm. *When 3×10^{11} photons each with a wavelength of 850nm incident on a photodiode, an average of 1.2×10^{11} electrons are collected at the terminal of the device. Determine the quantum efficiency and the responsivity of the photodiode at 850nm.*

Exercice 3.3. [8, xple 8.2]

Une photodiode a une efficacité quantique de 65% sous l'incidence de photons d'énergie de $1.5 \times 10^{-19} \text{ J}$. *A photodiode has a quantum efficiency of 65% when photons of energy $1.5 \times 10^{-19} \text{ J}$ are incident upon it.*

1. À quelle longueur d'onde la photodiode fonctionne-t-elle ? *At what wavelength is the photodiode operating?*
2. Calculer la détectivité ainsi que la puissance optique incidente nécessaire pour obtenir un photo courant de $2.5 \mu\text{A}$ lorsque la photodiode fonctionne comme décrit ci-dessus. *Calculate the responsivity and the incident optical power required to obtain a photocurrent of $2.5 \mu\text{A}$ when the photodiode is operating as describe above.*

Exercice 3.4. [8, xple 8.3]

1. L'arséniure de gallium (GaAs) a une énergie de bande interdite de 1.43eV à 300K. Déterminer la longueur d'onde au-delà de laquelle un photo détecteur intrinsèque fabriqué à partir de ce matériau cessera de fonctionner. *GaAs has a bandgap energy of 1.43eV at 300K. Determine the wavelength above which an intrinsic photodetector fabricated from this material will cease to operate.*
2. Le silicium possède une largeur de bande interdite de 1.12 eV. En déduire le domaine de longueur d'onde qu'un récepteur de lumière au silicium peut détecter. *Silicon has a bandgap energy of 1.12eV. Determine the wavelength range that a silicon light receiver can detect.*
3. Le gap du germanium est de 0.66 eV. En déduire sa longueur d'onde de coupure. Quel est l'avantage d'un photo détecteur au germanium par rapport à un autre au silicium ? *Germanium has a bandgap energy of 0.66eV. Determine his cutoff wavelength. What is the advantage of a germanium photodetector compared to a silicon one?*

Exercice 3.5. [8, 8.2]

Une photodiode PIN génère en moyenne une paire électron-trou pour trois photons incidents à une longueur d'onde de 800 nm. En supposant que tous les électrons sont collectés, calculer : / *A PIN photodiode on average generates ones electron-hole pair per three incident photons at wavelength of 800nm. Assuming all the electrons are collected calculate:*

1. le rendement quantique du composant / *the quantum efficiency of the device ;*
2. son énergie de bande interdite maximale possible / *its maximum possible bandgap energy ;*
3. le courant de sortie moyen lorsque la puissance optique reçue est de $0.1 \mu\text{W}$ / *the mean output current when the received optical power is $0.1 \mu\text{W}$.*

Exercice 3.6. [8, 8.5]

Une photodiode PN a une efficacité quantique de 50% à une longueur d'onde de 900 nm. Calculer : / *A PN photodiode has a quantum efficiency of 50% at wavelength of 900nm. Calculate:*

1. sa détectivité / *its responsivity ;*
2. la puissance optique reçue si le photocourant moyen de sortie est de $1 \mu\text{A}$ / *the received optical power if the mean output photocurrent is $1 \mu\text{A}$;*
3. le nombre correspondant de photons reçus à cette longueur d'onde. / *the corresponding number of received photons at this wavelength.*

Exercice 3.7. [8, 8.6]

Lorsque qu'un faisceau de 800 photons/s irradie une photodiode PIN fonctionnant sur longueur d'onde de 1300 nm, 550 électrons/s sont générés en moyenne et sont tous collectés. Calculer la détectivité du composant. / *When 800 photons per second are incident on a PIN photodiode operating at 1300nm wavelength they generate on average 550 electrons per second which are all collected. Calculate the responsivity of the device.*

Exercice 3.8.

1. Rappeler la relation liant la longueur d'onde à la hauteur de la bande interdite dans une photodiode.
2. Quel est l'intérêt de réaliser un composé ternaire à base de Ga, As, Al en ce qui concerne la réalisation de photodiode ?
3. On désire réaliser une photodiode à partir de l'alliage $Al_xGa_{1-x}As$ dont la longueur d'onde soit égale à 780nm. Calculer la proportion x d'atomes d'aluminium sachant que la hauteur de la bande interdite d'un tel composant est donnée par : $E_g = 1.425 + 1.155x + 0.370x^2$ (en eV).

Exercice 3.9. [8, xple 8.4]

L'efficacité quantique d'une APD particulière en silicium est de 80% pour la détection d'un rayonnement de longueur d'onde 900 nm. Lorsque la puissance optique incidente est de 0.5μW, le courant de sortie du composant (après avalanche) est de 11μA. Déterminer le photo courant et le facteur de multiplication correspondants de la photodiode dans ces conditions.

The quantum efficiency of a particular silicon APD is 80% for the detection of radiation at wavelength of 900nm. When the incident optical power is 0.5μW, the output current from the device (after avalanche) is 11μA. Determine the corresponding photocurrent and multiplication factor of the photodiode under these conditions.

Exercice 3.10. [4, 4.2]

Une photodiode à avalanche de détectivité 6A/W est éclairée par un faisceau lumineux de débit 10^{10} photons/s. Calculer le rendement quantique et le photo courant à la longueur d'onde 1550nm si le gain d'avalanche vaut 10.

Photons at a rate of $10^{10}/s$ are incident on an APD with responsivity of 6 A/W. Calculate the quantum efficiency and the photocurrent at the operating wavelength of 1.5 μm for an APD gain of 10.

Exercice 3.11. [8, 8.10]

Une APD avec un facteur de multiplication de 20 fonctionne à la longueur d'onde 1500 nm. Calculer l'efficacité quantique et le courant de sortie du composant si sa détectivité à cette longueur d'onde est de 6A/W et pour un flux incidents de 10^{10} photons par seconde. / *An APD with a multiplication factor of 20 operate at wavelength of 1500nm when photons. Calculate the quantum efficiency and the output current from the device if its responsivity at this wavelength is 6A/W and if 10^{10} photons are incident upon it per second.*

Exercice 3.12. [8, 8.12]

Étant données les mesures suivantes prises pour une APD, calculer le facteur de multiplication du composant. / *Given that the following measurements were taken for an APD, calculate the multiplication factor for the device.*

- puissance optique reçue à 1350nm / *received optical power at 1350nm* = 0.2μW ;
- courant de sortie (avec effet d'avalanche) / *output current (with avalanche effect)* = 4.9μA ;
- efficacité quantique à 1350nm / *quantum efficiency at 1350nm* = 40%.

Exercice 3.13. [8, 8.13]

Une APD a une efficacité quantique de 45% à 850 nm. Éclairée par un rayonnement de cette longueur d'onde, elle produit un courant de sortie d'avalanche de 10μA. Calculer la puissance optique reçue par le composant. À combien de photons par seconde cela correspond-il? / *An APD has a quantum efficiency efficiency of 45% at 850nm. When illuminated with radiation of this wavelength it produces an avalanche output current of 10μA. Calculate the received optical power to the device. How many photons per second does this correspond to?*

Exercice 3.14. [8, 8.14]

On considère un flux de 10^{11} photons/s, chacun avec une énergie de 1.28×10^{-10} J, irradiant une photodiode idéale ; calculer : / *When 10^{11} photons per second each with an energy of 1.28×10^{-10} J are incident on an ideal photo diode, calculate :*

1. la longueur d'onde du rayonnement incident ; / *the wavelength of incident radiation ;*
2. le photocourant de sortie ; / *the output photocurrent ;*
3. le courant de sortie si le composant est une APD avec un facteur de multiplication de 18. / *the output current if the device is an APD with a multiplication factor of 18.*

Exercice 3.15. [4, 1.5]

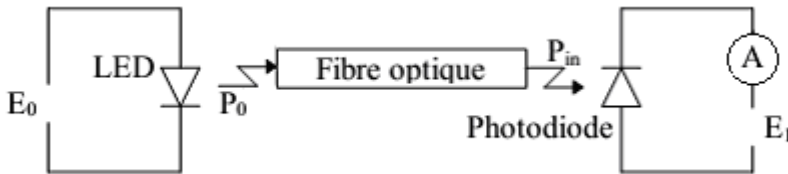
Un système de communication optique opérant sur la longueur d'onde 1550nm transporte un débit binaire de 1Gbps au format NRZ. La puissance moyenne à l'entrée du détecteur est de -40dBm. Combien de photons dénombre-t-on pour la détection d'un bit à 1 si on suppose une équiprobabilité d'occurrence des bits 0 et 1.

A 1550 nm digital communication system operating at 1 Gb/s receives an average power of -40 dBm at the detector. Assuming that 1 and 0 bits are equally likely to occur and a NRZ format, calculate the number of photons received within each 1 bit.

Exercice 3.16.

Le dispositif suivant sert à mesurer la détectivité \mathfrak{R} d'une photodiode, c'est-à-dire le rapport entre le photo courant traversant la photodiode éclairée et la puissance lumineuse reçue par la photodiode.

On rappelle qu'à 300 K, $I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) - P_{in} \times \mathfrak{R}$.



1. Sur la figure ci-avant, représenter dans le respect des polarités le branchement correct des sources d'alimentation continue E_0 et E_1 (E_0 et E_1 sont des tensions positives).
2. Préciser le sens des courants réels dans les deux diodes.
3. On a relevé expérimentalement les courbes du courant I_D traversant la photodiode en fonction de E_1 pour différentes puissances lumineuses incidentes P_{in} . La relation $I(P_{in})$ est-elle linéaire? En déduire la détectivité \mathfrak{R} que l'on exprimera en mA/mW.
4. La photodiode présente un courant d'obscurité de 5nA. Déterminer le courant de court-circuit de cette diode lorsque la puissance lumineuse reçue est de 1mW.

