

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 $0.5\mu W$, le courant de sortie du composant (après avalanche) est de $11\mu A$. 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 $0.5\mu W$, the output current from the device (after avalanche) is $11\mu A$. 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 $1.5 \mu m$ 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 facteur 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 = $0.2\mu W$;*
- courant de sortie (avec effet d'avalanche) / *output current (with avalanche effect) = $4.9\mu A$;*
- 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. Eclairée par un rayonnement de cette longueur d'onde, elle produit un courant de sortie d'avalanche de $10\mu A$. 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 $10\mu A$. 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 $1.28 \times 10^{-10} J$, irradiant une photodiode idéale ; calculer : / *When 10^{11} photons per second each with an energy of $1.28 \times 10^{-10} J$ 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]

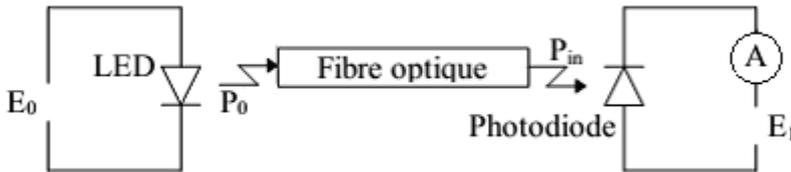
Un système de communication optique opérant sur la longueur d'onde 1550nm transporte un débit binaire de 1Gbps au format NRZ. La puissance moyenne à l'entrée du détecteur est de -40dBm. Combien de photons dénombre-t-on pour la détection d'un bit à 1 si on suppose une équiprobabilité d'occurrence des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

