

5 Alarme anti-intrusion

Si l'on souhaite protéger son habitation, investir dans des barrières infrarouges est une solution pertinente. En effet, ces dernières se placent à l'extérieur du domicile. La détection entraîne le déclenchement des sirènes d'alarme. Les intrus quittent les lieux avant même d'avoir posé le pied à l'intérieur du domicile.

Extrait adapté d'un texte de promotion des systèmes d'alarme, anti-cambriolage.fr.

Doc. 1 Caractéristiques d'une cellule

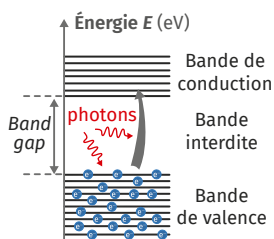
| Photodiode BPW34 | |
|--|-----------------|
| Dimensions (mm) | 5,4 × 4,3 × 3,2 |
| Surface photosensible (mm ²) | 7,5 |
| Température de fonctionnement (°C) | -40 à 100 |
| Capacité (nF) | 30 ± 5 % |
| Longueur d'onde de sensibilité maximale (nm) | 900 |
| Domaine spectral (nm) | [430 ; 1100] |
| Écart énergétique (<i>band gap</i>) (eV) | 1,12 |

Doc. 2 Caractéristiques d'une diode

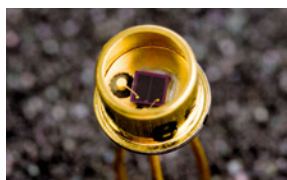
| LED TSHF5210 | |
|------------------------------------|----------|
| Diamètre (mm) | 5 |
| Température de fonctionnement (°C) | -40 à 85 |
| Courant de fonctionnement (mA) | 100 |
| Longueur d'onde d'émission (nm) | 890 |
| Largeur spectrale (nm) | 40 |
| Puissance radiante (mW) | 50 |

Doc. 3 Écart énergétique dans un photorécepteur

Dans un solide, les énergies possibles pour les électrons se répartissent en bandes, séparées par des « bandes interdites ». Dans un photorécepteur, l'écart énergétique (*band gap* en anglais) entre la dernière bande contenant des électrons (bande de valence) et la première bande n'en contenant pas (bande de conduction) est suffisamment faible pour que les électrons de la bande de valence puissent passer grâce à l'absorption d'un photon. Ils deviennent alors des électrons dits « libres » qui peuvent participer à la conduction du courant électrique.



Doc. 4 Dipôles utilisés



▶ Photodiode BPW34.



▶ LED TSHF5210.

Données

- **Conversion d'unités :** $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
- **Constante de Planck :** $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
- **Célérité de la lumière dans le vide :** $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- **Expression de l'énergie d'un photon de fréquence ν :** $E = h \cdot \nu$

Questions

1. Effet photoélectrique

Le capteur de proximité se compose d'un émetteur de lumière infrarouge (une LED) associé à un récepteur (une photodiode). La détection d'un intrus se fait par coupure ou variation du faisceau lumineux capté par le récepteur.

1.1 Le fonctionnement de la cellule photoréceptrice repose sur l'effet photoélectrique. Décrire cet effet et expliquer son importance historique.

1.2 Justifier que la LED émet un rayonnement infrarouge.

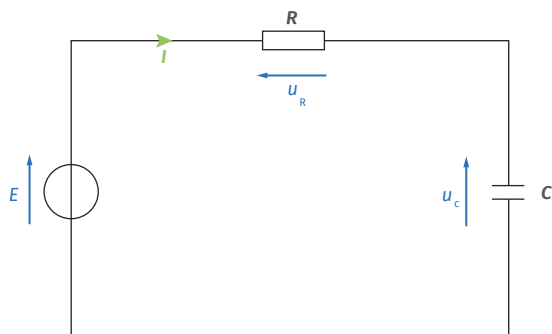
1.3 Calculer l'énergie des photons émis par la LED.

1.4 La photodiode ne peut pas détecter des photons de longueur d'onde supérieure à 1100 nm. Vérifier la validité de cette affirmation avec les données du **doc. 1** et le **doc. 3**.

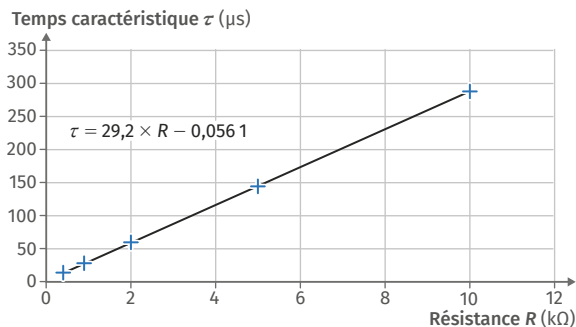
1.5 En déduire l'énergie cinétique des électrons de la surface photosensible de la photodiode après qu'ils ont absorbé un photon émis par la LED.



Doc. 5 Schéma électrique d'un circuit RC série



Doc. 6 Résultats expérimentaux



Temps de réponse de la photodiode pour différentes valeurs de la résistance R.

Questions

2. Modèle du circuit RC

Soit un circuit électrique composé d'un générateur de tension continue E ainsi que d'un condensateur de capacité C en série avec une résistance R . On étudie la charge du condensateur, initialement déchargé.

- 2.1 Exprimer u_R en fonction de R et i .
- 2.2 Exprimer i en fonction de C et de $\frac{du_C}{dt}$.
- 2.3 Montrer que u_C vérifie : $R \cdot C \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C = E$
- 2.4 La solution de l'équation différentielle est de la

forme $u_C(t) = E \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$. Exprimer τ .

3. Capacité de la photodiode

Une photodiode est placée en série avec une résistance R , puis est éclairée brusquement. Le temps caractéristique de charge τ est mesuré pour différentes valeurs de R . Les résultats sont montrés sur le **doc. 6**.

- 3.1 Déterminer la capacité C_{ph} de la photodiode.
- 3.2 Vérifier la cohérence avec le **doc. 1**.

Doc. 7 Relations utiles

Sans contrainte, le son produit par l'alarme se propage dans une demi-sphère. L'intensité sonore s'exprime :

$$I = \frac{P}{2\pi \cdot d^2} \quad \begin{cases} I : \text{intensité sonore (W} \cdot \text{m}^{-2}) \\ P : \text{puissance sonore (W)} \\ d : \text{distance à la source (m)} \end{cases}$$

Cette intensité est liée au niveau d'intensité sonore, plus couramment employé :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \begin{cases} L : \text{niveau d'intensité sonore (dB)} \\ I_0 : \text{intensité sonore de référence égale à} \\ I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{cases}$$

Questions

4. Alarme et propagation sonore

Suite à la détection d'une personne entrant dans le bâtiment, l'alarme sonore se déclenche. Le niveau sonore à 1,0 m est égal à $L_1 = 105$ dB. On suppose que le son se propage dans une demi-sphère.

- 4.1 Exprimer, puis calculer l'intensité sonore I_1 à une distance $d = 1,0$ m de l'alarme.
- 4.2 Exprimer, puis calculer l'atténuation $A_3 = L_3 - L_1$ entre les niveaux d'intensité sonore à 3,0 m et à 1,0 m de distance.
- 4.3 Déterminer la distance minimale d_{\min} pour

laquelle le bruit de l'alarme se confond avec le bruit ambiant. Commenter.

- 4.4 Calculer la longueur d'onde du son émis.
- 4.5 Préciser si cette onde peut être diffractée à travers une porte ouverte.

Données

- Niveau d'intensité sonore dû au bruit ambiant dans une rue calme : $L_{\text{ambiant}} = 30$ dB
- Vitesse du son dans l'air : $v_{\text{son}} = 340$ m·s⁻¹
- Fréquence de l'alarme : $f = 1,7$ kHz