MP 12 – Photorécepteurs

31 mai 2021

Clément Gidel & Pascal Wang

Niveau :

Commentaires du jury

Bibliographie

↗ *Le nom du livre, l'auteur*¹

→ Expliciter si besoin l'intérêt du livre dans la leçon et pour quelles parties il est utile.

Prérequis

➤ prérequis

Expériences

☞ Biréfringence du quartz

Table des matières

1 **Presentation : Etienne**

4

Introduction

Conclusion

Ouverture :

Compléments/Questions

Passage

Plan

Au tableau

Photorécepteur : transducteur convertissant un flux lumineux en signal électrique. On distingue : récepteur photonique, récepteur thermique et détecteur de flux, détecteur d'image (plusieurs détecteurs de flux pour reconstituer une image pixel par pixel).

Introduction orale

Un transducteur convertit un flux lumineux en signal électrique. Elle possède une grandeur photosensible (tension, résistance ou courant) qui dépend du rayonnement incident. Récepteur photonique : le rayonnement incident produit des paires électron trou. Récepteur thermique : le rayonnement provoque un échauffement.

La photodiode

I) La photodiode. Photodiode : jonction PN, entre un semi-conducteur dopé P, création paire électron-trou dans la zone de déplétion, qui sont accélérés par le champ électrique qui règne dans la zone de déplétion, la grandeur photosensible est le courant, explication du schéma. La grandeur photosensible est sur le courant du palier de la caractéristique. On veut s'y placer. On utilise QI+polariseurs croisés pour contrôler le flux en supposant la loi de Malus vraie. On utilise une résistance de charge.

Au tableau : schéma du montage électrique, caractéristique de la diode avec la droite de charge qui la coupe et un point de fonctionnement. 1) Linéarité. $\Gamma = \partial I_{ph} / \partial \phi$. Schéma QI+polariseur+analyseur+photodiode. Loi de Malus $\phi = \phi_0 \cos^2 \theta$. $I_{ph} = \Gamma \phi_0 \cos^2 + I_0$. Mesure : I_0 .

Phase de mesure silencieuse, 15 degrés par 15 degrés.

On a bien une droite. Le photorécepteur est linéaire *i.e.* Γ ne dépend pas du flux incident. Courant d'obscurité : courant minimal quand les polariseurs sont croisés : dû aux lumières parasites et au courant d'obscurité de nature quantique.

2) Mesure de temps de réponse. Au tableau : schéma diode laser, photodiode, réponse indicielle d'un filtre du 1er ordre avec la croissance exponentielle et le dessin du temps de réponse. On fait varier la résistance de charge. Le temps de réponse n'est pas une grandeur intrinsèque, elle dépend du circuit où on l'y place. La photodiode peut être modélisée par un condensateur car il y a une zone vide de charge avec des charges de part et d'autre. On mesure le temps de réponse à 0.63 à l'oscilloscope τ avec différentes résistances R . En faisant varier R et en ajustant la droite, on mesure C . Ici, prendre $\tau = 0.9$ La capacité mesurée prend aussi en compte la capacité du câble coaxial, du circuit (il faut pas soustraire, mais soustraire les inverses à l'inverse).

Le capteur CCD

II) CCD : charge coupled device. Appareil à couplage de charge. C'est un capteur d'image. Il apparait un paramètre qu'il n'y a pas dans les capteurs de flux : la taille du pixel, c'est ce qu'on va mesurer. On fait l'image d'une grille sur le capteur avec une lentille de focale connue. En comptant le nombre de paliers, on mesure la taille d'un pixel. Accord avec le constructeur.

En bonus : temps de lecture de la barrette, 10 ms, toutes les 40 ms.

Ouverture : on aurait pu s'intéresser au spectre, à la réponse spectrale (ouverture sur le pyromètre à 2 couleurs), à d'autres photorécepteurs : photorésistance qui est non linéaire, temps de réponse plus long, application pour les détecteurs de seuils. photodiode pour le flux. Photopile.

Pour faire l'image de la grille sur le photorécepteur, faire l'image sur un écran, substituer le CCD à l'écran et affiner pour maximiser le contraste à l'oscilloscope.

Questions

Caractéristique de la photorésistance? C'est une droite comme une résistance mais dont la pente varie avec le flux incident.

Choix de la fréquence du créneau, juste plus long que le temps de réponse mais sinon c'est bon.

Domaines de la photodiode? Cadrant $I < 0, U < 0$, la puissance reçue est négative : générateur.

Différence entre polariseur et analyseur? Selon la position.

Le courant d'obscurité provient-il seulement de la lumière parasite? Non il y a aussi un courant qui provient de l'agitation thermique et le "dark current".

Comment minimiser les incertitudes avec la loi de Malus? Faire la moyenne symétrique ramène l'incertitude sur la position du 0 à l'ordre 2.

Pourquoi une diode laser pour le temps de réponse? Pourquoi pas un stroboscope? Les flashes sont plus difficiles à caractériser. On ne connaît pas le temps de réponse du stroboscope.

Question sur comment choisir E et R? On choisit E le plus grand possible (juste ne pas brûler la photodiode) 10V. On choisit R assez petit pour rester dans le domaine de linéarité (la droite de charge croise la caractéristique de la diode) je crois pour être bien sur le plateau de la caractéristique de la diode

Pourquoi vous avez choisi une limite à 95 pourcent pour le temps de réponse de la photodiode? Il faut prendre 63 pourcent pour avoir $\tau = RC$, ici il manque un facteur sur C.

Que se passe-t-il si on fait la mesure du temps de réponse en éteignant plutôt qu'en éclairant? On trouve un résultat différent de 10 pourcent? de différence. En fait, la taille de la zone de déplétion dépend du flux incident.

Pour le capteur CCD, est ce que on pourrait faire une mesure de la taille du pixel sur un seul pixel et pas sur plusieurs (toujours avec l'oscilloscope)?

Peux-tu nommer des photorécepteurs biologiques? Les batonnets de l'oeil. Quelle est sa résolution spatiale? $1/60$ de degré ou 3.10^{-4} radian. 1mm à 3m de distance. En temporel? 60 Hz environ même si on remarque la fluidité du 160 Hz.

Réponse spectrale de la photodiode? Fenêtre autour de l'énergie du gap.

Manip surprise : Fabriquer une lunette astronomique de grandissement 5. Vous voulez dire -5? Sinon mettre deux lentilles de $-\sqrt{5}$ en série. Envoyer un objet à l'infini avec une lentille, réglée par autocollimation. Ensuite faire l'oeil. Ensuite mettre la lunette n'importe où entre les 2. Si on veut aller vite, on peut projeter sur le mur au lieu de faire l'oeil.

Commentaires

Pour la sensibilité, c'est peut-être bien de faire beaucoup de points devant le jury pour éviter les variations de luminosité.

Il faudrait faire une intro rapide et reparler pendant la mesure de sensibilité.

On peut faire une autre manip pour allonger.

Mentionner l'utilisation de la notice du constructeur pour les valeurs des incertitudes.

Parler des lignes importantes du code Python.

Plan : Clément

J'aime bien le plan d'Etienne, je remplace juste le rendement quantique par le temps de réponse. On peut remplacer la partie sur la photopile par la mesure de la taille d'un pixel. Finalement on fait le plan de Corentin avec la mesure du temps de réponse de la photorésistance en moins (on peut éventuellement l'ajouter, à voir si on a le temps). **La manip de la taille du pixel est à faire!**

Intro : Un transducteur convertit un flux lumineux en signal électrique. Elle possède une grandeur photosensible (tension, résistance ou courant) qui dépend du rayonnement incident. Récepteur photonique : le rayonnement incident produit des paires électron trou. Récepteur thermique : le rayonnement provoque un échauffement.

1) Photodiode. On fait caractéristique, linéarité, conditionnement et temps de réponse. Pour faire plusieurs courbes sur Latis Pro il faut faire deux acquisitions sur Latis pri et aller en bas à gauche pour tracer les deux sur le même graphe. En pratique c'est assez bruité mais ça marche. **Pour le conditionnement attention à bien polariser la diode en inverse sinon on est pas linéaire.** Attention aussi la résistance max monte jusqu'à $800k\Omega$ pour 5V et $100k\Omega$ pour 1V.

3) Temps de réponse : subtilité est de s'assurer que le temps de réponse mesuré est bien celui de la photodiode, il faut en particulier que le temps de réponse de la source lumineuse est négligeable devant celui de la photodiode. En pratique avec une TTL qu'on module à 10 kHz qu'on alimente avec P5.16 une P 53. 24 avec 9 V. On a les temps de montée qu'on peut mesurer à l'oscillo avec temps de montée sur mesures automatiques (vérifier la notice!). On retrouve une bien une dépendance linéaire avec la résistance!!

La mesure du temps de réponse de la photorésistance marche bien, on a des temps de montée et descente plus symétrique et on retrouve que c'est l'ordre de la milli seconde.

II) Taille d'un pixel de CCD. Mettre le capteur à 1m, intensité au min de la QI. utilise le P 17.10 comme barette CCB. Coller directement à la barrette. utiliser déclenchement Neme fronts avec 2 fronts et mettre un temps inactif de l'ordre de la période entre 2 pics. en fait ça lit à l'endroit et à l'envers et à l'envers plus vite c'est pour ça qu'on est plus rapproché la deuxième fois. Il faut vraiment pas bcp de lumière pour voir qqch. On met P/A pour réduire l'intensité et se mettre à la limite de saturation. Ajouter tube en noir. On sépare qu'une des 3 bifentes.

1 Présentation : Etienne

Plan

Intro : def d'un photorecepteur. Intérêt de connaître la caractéristique.

I) Photodiode. L'intensité du palier dépend du flux lumineux reçu de manière croissante. Circuit à résistance de charge. Caractéristique et mesure de la résistance optimale. Il faut une résistance assez faible pour être sur le palier de la photodiode et assez haute pour voir bonne sensibilité en tension. Pour déterminer résistance optimale, on trace $U(R)$ et on observe la résistance un peu avant qu'on quitte le régime linéaire ($R \sim 40k\Omega$).

Linéarité du capteur (avec une bonne transition). On trace la loi de Malus pour montrer la linéarité du capteur. Ainsi i est proportionnel au $\cos(\theta)^2$ lui même proportionnel au flux donc le flux est bien proportionnel à i .

Sensibilité et rendement quantique. On travaille avec laser de puissance $\Phi = 1mW$. On peut alors mesurer la sensibilité $S = i/\Phi$. On trouve $S(\lambda_{laser}) = 0.36/1 = 0.36 \pm 0.04A/W$. Le rendement quantique est def comme le nb d'électrons excités sur le nb de photons incidents $\eta = Shc/\lambda q$. On trouve $\eta = (71 \pm 7)\%$.

II) Photopile. Caractéristique (u,i). On calcule i_{cc} et u_{c0} en mettant coupe et court circuit. On précise qu'il s'agit des courants et tensions maximales de la photopile.

Puissance maximale générée par le dispositif + plage de captation de la photopile (non traitée).

Remarques/ questions

- Une photo d'une photo-diode aurait été bien je pense.
- incertitude sur le voltmètre à présenter en même temps que la première mesure je pense.
- autre montage pour déterminer la valeur de R que de brancher un Ohmmètre? Avec un oscilloscope par exemple.
- Pourquoi avoir pris cette photodiode avec un temps de réponse plus grand que le photorécepteur dans la collection? PB de moyennage vu par le voltmètre.
- Parler de la tension de seuil de la diode.
- Incertitudes sur l'intensité?
- Le laser est surtout une source monochromatique cohérente temporellement.
- rendement quantique ou classique du coup?
- LES INCERTITUDES!

questions

- peux tu mesurer la focale d'une lentille? autocollimation, méthode de Bessel...
- Quels sont les sources d'incertitude lors de la lecture de la focale? Taille du porte lentille, erreur d'appréciation de la netteté de l'image collimaté, erreur de la règle.
- "Le plus plat plus près" évite quelle erreur? Erreur géométrique ou chromatique?
- temps de réponse des photorécepteur? Quel sont les principaux paramètres? sensibilité spectrale, plage de linéarité,
- Pourquoi la caractéristique de la photodiode est affine et pas linéaire? tension de seuil?
-

- Même quand P/A croisés on a une petite intensité? 2 possibilités : Le système ne suit pas la loi de Malus ou bien la photodiode est éclairé par l'éclairage ambiant. En fait, l'influence de l'éclairage ambiant est faible nous assure Etienne (peut être éteindre la lumière + bien focaliser dessus).
- 🚫 **Expliquer les incertitudes!** Bon même si on le fait pendant les questions c'est pas si mal. Incertitude voltmètre à 1%? En fait il faut regarder la notice pour incertitude de calibration c'est le mieux (x digits + $y\%$).
- Attention à ne pas prendre une incertitude trop faible au 1/100ème sur un voltmètre si la valeur au 1/10ème oscille.
- Expliquer pourquoi on prend le symétrique pour la loi de Malus : avec les mains, en faisant la moyenne on supprime au premier ordre l'erreur sur la position 0 de l'analyseur.
- Quelle est la plage spectrale de la photodiode? Dépend du gap entre BC et BV. Pour le silicium, c'est 1.1eV, donc sensibilité infrarouge au max. Grande longueur d'onde pas adapté.
- Si photons trop énergétiques, la majorité des photons sont absorbés en surface donc on a quasiment plus de courant.
- Augmenter le rendement quantique en changement de récepteur? Typiquement plus grand que 1? On peut s'en apercevoir en regardant le temps de réponse peut-être. Avec un photomultiplicateur, basé sur l'effet photoélectrique avec un effet d'avalanche. **Aujourd'hui on peut détecter un unique photon.**
- 🚫 **C'est tricky de lancer une exploitation avec des points de préparation qui ne collent pas avec le point pris en live. Reprendre 3-4 points si on veut tracer qqch.**
- Quand on regarde le rendement quantique en fait on regarde le rendement qu'une chaîne d'acquisition en entier (rendement complet).
- Tu peux nous donner des exemple de cas ou la photopile est utilisé comme source d'énergie lumineuse? Panneau solaire? Aussi sert à l'éclairage public (détecte automatiquement quand allumer).
- La photopile est constitué d'un semi conducteur, quelle est la différence entre photopile et photoconducteur? Photopile c'est une jonction PN, zone d'espace de charge constitue élément non linéaire.
-
- Quand on ouvre le circuit, résistance infinie? En fait c'est résistance de l'air + résistance du voltmètre.
- Thermopile utile pour faire la caractéristique de la photodiode, le soucis c'est les temps de thermalisation.
- On peut aussi parler de réponses dynamiques, de capteur CCD, d'appareil photo (aujourd'hui, capteur photodiode et lecture sur le même pixel)
- Faire au moins 2 récepteurs différents, sinon c'est chaud.
- C'est pas grave de pas finir, c'est grave de bacler le bail!