

MP 12 : Photorécepteurs.

Correcteurs : Charles Édouard Lecomte¹ et Vincent De Zotti²

Montage présenté le 8 décembre 2017 par Maxime Martinez

Extraits des rapports du jury

- 2017 : Il ne faut pas perdre de vue les aspects de métrologie dans ce montage. Il faut aussi connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs.
- 2014, 2015, 2016 : Dans ce montage, les questions classiques de métrologie peuvent être abordées : sensibilité, bande passante et temps de réponse. Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale. Plus généralement, il faut connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Remarquons pour finir que la notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode.
- 2013 : Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale.
- 2012 : Ce montage se prête à l'utilisation à la fois des composants fondamentaux et de matériel grand public (photodiode, cellule solaire, capteur CCD, bolomètre...). Trop de candidats utilisent une photodiode sans en connaître suffisamment les propriétés. Ne pas confondre une photodiode nue avec un bloc formé d'une photodiode et d'un circuit de polarisation.

Commentaires généraux sur le montage

Le montage présentait certaines qualités, mais plusieurs points sont à améliorer. Le nombre d'expériences réalisées est suffisant, mais la présentation manquait de dynamisme. Il faut davantage expliquer au jury ce que vous êtes en train de faire, et dans quel but.

Le temps d'exposé a été respecté. Le tableau était soigné et contenait les informations nécessaires. L'évaluation des incertitudes a été discutée.

L'étude de la photorésistance et de la photodiode est assez classique dans ce montage, mais elle est conforme aux attentes du jury. La présentation d'un capteur CCD est originale et sera valorisée s'il est bien décrit et exploité.

Commentaires détaillés du montage

Introduction (1 min)

La définition d'un photorécepteur a été donnée, c'est important de le faire au début de ce montage. On pourrait également présenter les différents types de photorécepteurs.

1 Principe de fonctionnement

1. charlesedouard.lecomte@ens-lyon.fr
2. vincent.de_zotti@ens-lyon.fr

1.1 Photorésistance (1 min)

Le fonctionnement de la photorésistance a été décrit en utilisant un conditionnement avec un AO, il faudrait justifier ce choix. Si vous ne présentez pas le principe physique sur lequel repose son fonctionnement, il vous sera probablement demandé lors des questions.

1.2 Photodiode (2 min)

La caractéristique de la photodiode a bien été décrite, elle a été tracée sur un oscilloscope grâce à un montage à résistance de charge, ici aussi il faudrait justifier ce choix. Comme pour la photorésistance, des questions sur le principe physique sur lequel repose la photodiode pourront vous être posées.

2 Linéarité

2.1 Photodiode (5 min)

La linéarité du photocourant en fonction du flux lumineux a bien été retrouvée en faisant varier l'angle entre un polariseur et un analyseur. Il faut préciser comment est définie la sensibilité de la photodiode (attention aux unités!).

2.2 Photorésistance (4 min)

La réponse de la photorésistance est non-linéaire, il est bien de la caractériser avec une loi de puissance. La mesure effectuée n'était pas cohérente avec celles réalisées en préparation. C'est probablement dû au fait que la photorésistance a été déplacée au cours du montage, il faut éviter de le faire, quitte à utiliser une lampe QI supplémentaire.

Si vous réalisez un ajustement uniquement sur des points réalisés en préparation, cela sera sanctionné par le jury. Il est préférable de prendre quelques minutes pour recommencer une nouvelle série de mesure devant le jury avec seulement quelques points, puis de réaliser l'ajustement sur ces données.

3 Temps de réponse

3.1 Photorésistance (11 min)

Le temps de réponse a été mesuré en utilisant une diode laser alimentée en TTL, c'est un bon choix. Cependant, le signal obtenu n'était pas stable et on voyait à l'œil nu que la luminosité en sortie de la diode laser n'était pas constante.

3.2 Photodiode (4 min)

Cette partie n'a pas été traitée dans l'ordre chronologique de la présentation, mais à la fin car il restait du temps. C'est une possibilité en montage et cela ne vous sera pas reproché par le jury.

La mesure du temps de réponse n'a pas posé de problème. Plutôt que de se limiter à une seule mesure, il serait possible de montrer l'évolution linéaire du temps de réponse de la photodiode avec la résistance R du montage, comme présenté dans *Physique expérimentale* de Fruchart p.170.

4 Capteur CCD

4.1 Temps d'acquisition (5 min)

Il faut bien décrire le capteur CCD utilisé et le montage optique réalisé. Le temps de rafraîchissement du capteur a bien été mesuré.

4.2 Taille d'un pixel (6 min)

Il faut bien expliquer le principe de cette mesure. Attention à ne pas utiliser deux notations différentes pour un même paramètre !

La taille mesurée était légèrement différente de celle attendue, il y a probablement eu une erreur dans la mesure réalisée ou dans le calcul.

Conclusion (1 min)

Les applications de la photodiode et de la photorésistance ont été discutées.

Questions posées et éléments de réponses

Quelles sont les deux catégories de photorécepteurs ?

On distingue :

- les photorécepteurs thermiques basés sur l'augmentation de la température d'un corps due à l'absorption du flux lumineux,
- les photorécepteurs photoniques basés sur la création de porteurs de charges par effet photo-électrique.

Sur quel principe physique repose le fonctionnement d'une photodiode ?

Une photodiode est constituée d'une jonction PN. Lorsqu'un photon est absorbé dans la zone de déplétion, il crée une paire électron-trou qui se sépare par conduction. Il en résulte un photocourant inverse, orienté de la cathode vers l'anode, qui est proportionnel au flux lumineux reçu.

Sur quel principe physique repose le fonctionnement d'une photorésistance ?

Une photorésistance est composée d'un milieu semi-conducteur. L'absorption d'un photon produit une paire électron-trou, ce qui augmente sa conductivité. Sa conductance augmente donc avec le flux lumineux, de façon non-linéaire.

Comment est définie la sensibilité d'une photodiode ?

La sensibilité d'un photorécepteur est définie comme le rapport de la variation de la grandeur photosensible sur la variation du flux lumineux. Pour une photodiode, la grandeur photosensible est le photocourant, d'où la sensibilité :

$$\Gamma = \frac{\delta I}{\delta \Phi}$$

Décrire les différents régimes de la caractéristique d'une photodiode.

- Lorsque $U < 0$ et $I < 0$, la photodiode se comporte comme un récepteur, elle est polarisée en inverse et l'intensité est proportionnelle au flux lumineux.
- Lorsque $U > 0$ et $I > 0$, la photodiode se comporte également comme un récepteur, elle est polarisée en direct et son comportement évolue peu avec le flux lumineux.
- Lorsque $U > 0$ et $I < 0$, la photodiode se comporte comme un générateur, elle fonctionne en mode photovoltaïque, c'est ce comportement qui est à la base des cellules photovoltaïques dans les panneaux solaires.

Quelle est l'impédance d'entrée et de sortie d'un AO ?

Un AO idéal possède une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle. En pratique, l'impédance d'entrée est de l'ordre de $10^{12} \Omega$ et celle en sortie de l'ordre de 100Ω .

Pourquoi moyenner les mesures réalisées avec un angle $+\theta$ et $-\theta$?

Cela permet de minimiser l'erreur systématique due au mauvais repérage de l'extinction. Pour plus de détails, je vous conseille la lecture de *Physique expérimentale* de Fruchart p.149.

Pourquoi il faut éviter d'utiliser un laser dans une expérience où l'on mesure un flux lumineux ?

L'intensité d'un laser n'est pas toujours constante, et il peut avoir un plan de polarisation qui fluctue. Son temps de chauffe est également assez long, tout comme celui des lampes spectrales. On préfère donc utiliser des lampes QI pour ces expériences.

Conseils et compléments

Les expériences présentées lors de ce montage sont conformes à ce qui est attendu par le jury. La présentation d'un capteur CCD a le mérite d'être originale. Il est également possible d'étudier la réponse spectrale des photorécepteurs, mais les expériences sont un peu plus délicates à réaliser que les précédentes. Vous pouvez pour cela utiliser le puissancemètre Thorlabs P17.18, qui n'est en réalité qu'une photodiode étalonnée, et réaliser un étalonnage par comparaison.

Lorsqu'une mesure réalisée devant le jury n'est pas cohérente avec celles réalisées en préparation, il est préférable de recommencer toute la série de mesure devant le jury (3 ou 4 points suffisent généralement) plutôt que de réaliser un ajustement uniquement sur celles réalisées en préparation.

Le fonctionnement de tous les dispositifs utilisés lors d'un montage doit être connu. Il faut aussi justifier l'utilisation d'un conditionnement plutôt qu'un autre pour l'étude de la photodiode et de la photorésistance.

J'en profite pour vous rappeler l'importance de lire les rapports du jury³ pour être au courant des attentes du jury, lors de l'épreuve de montage notamment.

Nous restons à votre disposition par mail si vous avez d'autres questions.

3. sur le site www.agregation-physique.org