



HAL
open science

Effet photo-diélectrique dans la poudre de Cds comprimée

S. Ivanov, L. Bontchev, D. Michev

► **To cite this version:**

S. Ivanov, L. Bontchev, D. Michev. Effet photo-diélectrique dans la poudre de Cds comprimée. Revue de Physique Appliquée, 1967, 2 (3), pp.169-174. 10.1051/rphysap:0196700203016900 . jpa-00242786

HAL Id: jpa-00242786

<https://hal.science/jpa-00242786>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EFFET PHOTO-DIÉLECTRIQUE DANS LA POUDRE DE CdS COMPRIMÉE

Par S. IVANOV, L. BONTCHEV et D. MICHEV,

Institut de Physique de l'Académie bulgare des Sciences.

Résumé. — Dans le présent travail, on fait des études à l'aide d'un pont phaso-sélectif RLCM sur les variations de capacité des photorésistances en poudre de CdS comprimée, excitées par de la lumière blanche continue et discontinue et en lumière monochromatique. On prouve que l'augmentation de la capacité à l'éclairement possède une sélectivité et que sa diminution dans certaines limites est proportionnelle à la diminution de l'énergie de la lumière d'excitation.

On a étudié l'influence de la fréquence de répétition des impulsions lumineuses et de l'intensité de la lumière d'éclairement sur la raideur du front des variations de capacité.

Abstract. — Using a RLCM phaso-selective bridge, we studied the capacity variation of photoresistors made of compressed CdS powder, excited by continuous and discontinuous white light, or by monochromatic light. It is shown that the increase of capacity during the illumination is selective, and that its decrease is, between some limits, proportional to the decrease of energy of the excitation light.

We studied the effect of the repetition frequency of the light pulses and of the illuminating light on the steepness of front of the variations of capacity.

Lors de l'éclairement des semi-conducteurs, utilisés comme diélectriques de condensateur, on voit se produire des variations de leurs propriétés diélectriques.

La variation des propriétés diélectriques des semi-conducteurs s'explique par la variation simultanée de leur perméabilité et de leurs pertes diélectriques.

Pour la séparation, la mesure et l'étude de la cinétique des variations rapides de la perméabilité diélectrique et des pertes diélectriques d'un condensateur de mesure dont le diélectrique est soumis à un éclairage quelconque ou à un autre effet, des méthodes différentes ont été élaborées [2, 3, 4, 5, 6].

Dans le présent travail, on a fait l'étude des variations de capacité des photorésistances, constituées de poudre de CdS comprimée, excitées par de la lumière continue ou discontinue, l'influence des variations des pertes diélectriques étant pratiquement éliminée.

Procédé de travail et schéma de l'appareillage de mesure. — La séparation des composantes de la perméabilité diélectrique complexe s'effectue à l'aide d'un pont phaso-sélectif RLCM. Sur la figure 1, on a représenté le schéma synoptique de l'appareillage de mesure utilisé. Le générateur 1 de haute stabilité et haute fréquence fournit une tension sinusoïdale à la fréquence de 1,1 MHz. L'amplitude de celle-ci peut être réglée dans de larges limites en fonction du signal obtenu à la sortie du pont phaso-sélectif. L'amplificateur haute fréquence 2 subit une réaction négative de taux de contre-réaction élevé 3 en courant et en

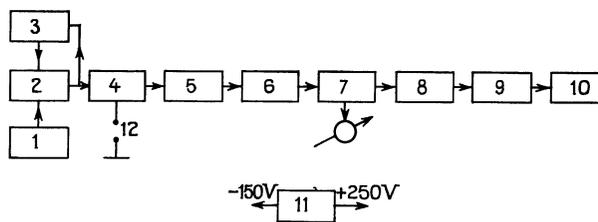


FIG. 1.

tension. Le pont phaso-sensible 4 ne diffère pas de celui étudié en [1, 5]. Une attention particulière a été portée sur la qualité des circuits oscillants afin d'obtenir une stabilité et une sensibilité plus grandes. Le signal amplifié par 5 est appliqué au détecteur 6. Dans le schéma de celui-ci, on a pris des précautions afin d'éliminer l'influence du bruit du fond et du courant initial de la diode. Le voltmètre à lampes, utilisé comme indicateur pour la lecture des variations de capacité, est réalisé suivant un schéma en pont en raison de ses grands avantages. La caractéristique du voltmètre est linéaire sur toute son échelle de mesure. On y a prévu également la possibilité de déplacement de la position de l'aiguille, ce qui crée certaines commodités de travail.

Pour enregistrer les variations de la perméabilité diélectrique complexe, le signal à la sortie 7 est appliqué au modulateur 8. On y module une tension à la fréquence 5 kHz, elle est amplifiée par 9, et

TABLEAU I

N° DE L'ÉCHANTILLON	ÉCLAIREMENT EN LUX	TENSION DE RÉGIME V	COURANT D'OBSCURITÉ 10^{-3} A	COURANT PHOTOÉLECTRIQUE 10^{-3} A
1	800	0,5	2	70
2	800	2	1	100
3	800	0,5	2	35
4	800	10	0,1	35
5	800	4	0,6	70

appliquée à l'appareil d'enregistrement 10, type « He-1 ».

De cette façon on a pu réaliser une meilleure stabilité, une sensibilité plus grande et une mesure plus précise. Cela a permis également l'enregistrement direct de la cinétique des processus.

Les propriétés fondamentales de l'appareillage ainsi que les possibilités de son utilisation sont indiquées en [6].

Mesure des variations de capacité. — Les échantillons dont on se sert pour l'étude de photorésistances en CdS comprimé et soumis ensuite à un traitement thermique ont été faits conformément au [7]. Au tableau I, on voit représentés certains des paramètres des échantillons employés.

Les photorésistances ont été éclairées par une lampe à mercure en quartz « Hereos » 250 W, alimentée en courant continu de 2,8 A et par lumière monochromatique dans le sens du champ électrique appliqué aux échantillons.

La même lampe à mercure était employée comme source de lumière monochromatique, la lumière des différentes raies spectrales était séparée par des filtres convenables. On a employé une lumière monochromatique d'excitation de longueur d'onde de 436 nm, 546 nm, 578 nm. Pour la composante infrarouge, on employait un filtre RG-8, et pour l'ultraviolet, le filtre de Wood.

L'échantillon à mesurer est branché de la façon indiquée sur la figure 1. Sur la figure 2, on a représenté les variations de capacité de l'échantillon 2 lors de son éclairage direct par la lumière de la lampe à mercure et par une lumière monochromatique, dans le cas où la variation des pertes est pratiquement éliminée.

A l'excitation directe par la lumière de la lampe à mercure (courbe 1), l'augmentation de la capacité se produit instantanément, sans inertie, jusqu'à une valeur stationnaire qui reste constante pour tout éclairage ultérieur.

A l'obscurissement, on remarque un accroissement de la capacité de courte durée au-dessus de la valeur stationnaire; un pic y apparaît, après quoi commence une diminution de la capacité, au début rapide, ensuite progressive et plus lente jusqu'à sa valeur initiale.

La courbe montre que l'augmentation de la capacité

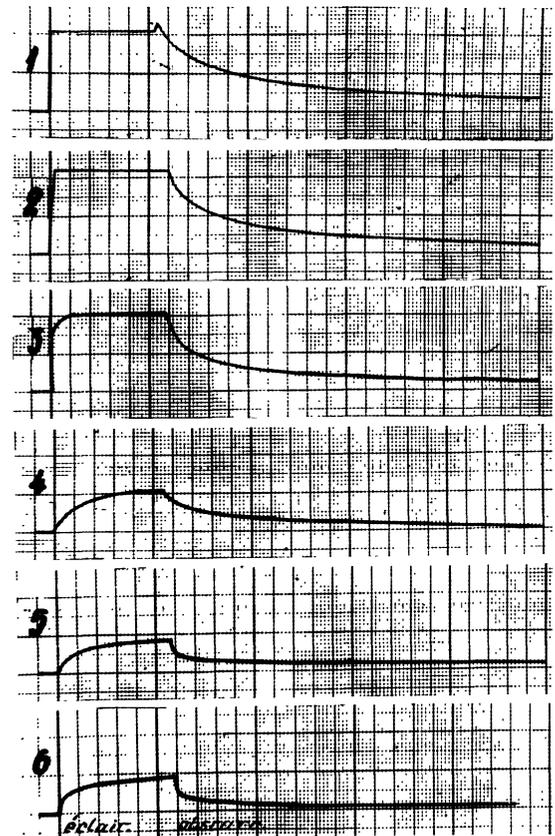


FIG. 2. — Cinétique des variations de capacités en CdS à l'excitation par lumière blanche et monochromatique.

s'effectue sans inertie, tandis qu'à l'obscurissement, après le pic de courte durée, le rétablissement se fait avec une inertie considérable.

A l'éclairage du même échantillon par une lumière monochromatique de longueur d'onde de $\lambda = 578$ nm, provenant de la lampe à mercure à travers un filtre Wratten 23, l'augmentation de la capacité se produit fort rapidement et presque sans inertie jusqu'à la valeur maximale, de même que dans le cas d'éclairage par lumière directe. Cette valeur reste également constante pour l'éclairage ultérieur. A l'obscurissement, on n'obtient pas de pic, mais on voit se produire une diminution de la capacité, rapide

au commencement, progressive ensuite et tendant vers sa valeur d'avant excitation (courbe 2).

La courbe 3 est obtenue à l'éclairement avec $\lambda = 546$ nm, provenant également de la lampe à mercure, mais à travers un filtre Ilford 807. Cette fois encore, l'augmentation de la capacité s'établit très vite et, avec un ralentissement insignifiant, atteint sa valeur maximale qui, par la suite, reste constante. A l'obscurcissement, l'inertie de diminution de la capacité est de l'ordre de celle dans le cas où $\lambda = 578$ nm.

Les variations de capacité survenues à l'éclairement de la photorésistance par la lumière infrarouge, obtenue à travers un filtre RG-8, sont représentées par la courbe 4. Leur nature se distingue de celles qui sont décrites ci-dessus. A l'éclairement, la valeur maximale est atteinte avec une certaine inertie (environ 6 secondes). La courbe est de forme exponentielle prononcée. A l'obscurcissement, la diminution de la capacité jusqu'à sa valeur initiale s'effectue avec une inertie sensiblement plus grande que celle des trois premières courbes.

La courbe 5 est relevée à l'éclairement avec $\lambda = 436$ nm, obtenue à travers un filtre Wratten n° 50, et la courbe 6 à l'éclairement par lumière ultraviolette, obtenue à l'éclairement à travers un verre de Wood. Ces deux courbes sont analogues à la courbe 4, c'est-à-dire qu'elles aussi ont une nature exponentielle. L'augmentation de capacité maximum de ces courbes est sensiblement plus faible que celle des courbes 1, 2 et 3. Toutes les courbes de la figure 2 sont obtenues par relèvement direct avec l'appareil d'enregistrement « He-1 ». De cette façon on a pu enregistrer avec précision la cinétique des variations de capacité à l'éclairement des échantillons avec une lumière achromatique et monochromatique.

L'aspect des courbes représentées sur la figure 2 prouve d'une manière convaincante que l'augmentation de la capacité à l'éclairement est sélective. Par exemple, la courbe 1, obtenue à l'éclairement direct de la photorésistance, et la courbe 2, obtenue à l'éclairement avec $\lambda = 578$ nm, montrent que l'augmentation de la capacité pour la lumière monochromatique est plus grande, quoique l'énergie de cette lumière soit plus faible que celle de la lumière directe dont elle est une des composantes.

Il est évident, sur la figure 2, que l'effet se produisant à l'éclairement simultané avec toutes les raies spectrales de la lampe à mercure ne représente pas la somme des effets obtenus à l'éclairement par différentes raies spectrales. Ce fait peut être expliqué de la façon suivante : l'augmentation de la capacité est due à la libération d'électrons des niveaux énergétiques déterminés de la bande occupée (de valence) et à leur passage dans la bande de conduction. A l'éclairement de la photorésistance en lumière monochromatique, un certain nombre d'électrons se trouvent libérés. Les raies spectrales de longueur d'onde de $\lambda = 578$ nm et $\lambda = 546$ nm libèrent presque le même nombre d'électrons, le plus grand possible. Ce nombre n'aug-

mente pas, même si nous éclairons simultanément et avec les autres raies spectrales de la lampe à mercure, du fait que presque tous les électrons disponibles de la bande occupée sont libérés. L'augmentation de l'effet ne peut être réalisée que si nous augmentons l'intensité de l'énergie d'éclairement.

L'accroissement de la capacité presque sans inertie à l'éclairement avec $\lambda = 546$ nm, $\lambda = 578$ nm, ainsi que par la lumière blanche, montre que tous les électrons quittent instantanément les niveaux correspondant de la bande occupée et passent dans la bande de conduction. A l'obscurcissement les électrons ne peuvent pas revenir rapidement sur les niveaux de la bande occupée à cause de l'agitation thermique. Ceci nécessite un certain temps, ce qui explique la présence d'une inertie considérable.

A l'éclairement avec $\lambda = 456$ nm et à travers un filtre RG-8 ainsi qu'avec de la lumière ultraviolette à travers un filtre de Wood, les courbes montrent qu'au début de l'éclairement un nombre plus grand d'électrons sont libérés. Ce nombre s'accroît progressivement et tend à atteindre une valeur stationnaire correspondant à l'énergie de l'éclairement. La présence d'une plus grande inertie à l'obscurcissement s'explique dans ce cas encore par les phénomènes décrits pour les autres longueurs d'onde.

Tout ce qui a été dit sur l'échantillon 2 est valable pour l'échantillon 5 aussi. Dans le cas de ce dernier, cependant, l'augmentation maximale de la capacité pour $\lambda = 546$ nm, $\lambda = 578$ nm, ainsi qu'à l'éclairement direct, est inférieure à celle de l'échantillon 2. L'aspect des courbes, y compris le pic, à l'éclairement direct reste le même.

Dans le cas de l'échantillon 1 à l'éclairement avec $\lambda = 546$ nm, $\lambda = 578$ nm, ainsi qu'à l'éclairement direct, on obtient des courbes qui sont presque identiques et ont le même aspect que celles de l'échantillon 2. A l'obscurcissement, cependant, de l'éclairement direct, on n'obtient pas de pic. On pourrait l'expliquer par l'énergie insuffisante de la lumière d'excitation pour cet échantillon. Pour $\lambda = 436$ nm, et pour la lumière ultraviolette, obtenue à travers un filtre de Wood, l'aspect est presque le même que celui de l'échantillon 2, mais les valeurs de l'écart maximum pour ces ondes sont différentes de celles de l'échantillon 2.

Les expériences effectuées sur d'autres échantillons montrent que leurs variations de capacité ne diffèrent pas beaucoup de celles des échantillons décrits.

Sur la figure 3 se trouvent représentées les courbes d'augmentation de la capacité des échantillons 1, 2 et 5 en fonction de la grandeur de l'énergie lumineuse. L'énergie diminue lorsqu'on fait passer la lumière directe à travers des filtres exécutés en fillet serré de laiton. La décroissance de l'effet pour les trois échantillons se produit presque de la même manière. Lorsqu'on fait passer la lumière à travers 1, 2, 3 et 4 filtres à fillet superposés, l'effet reste inchangé. La décroissance de l'effet commence à partir du cinquième filtre, à une

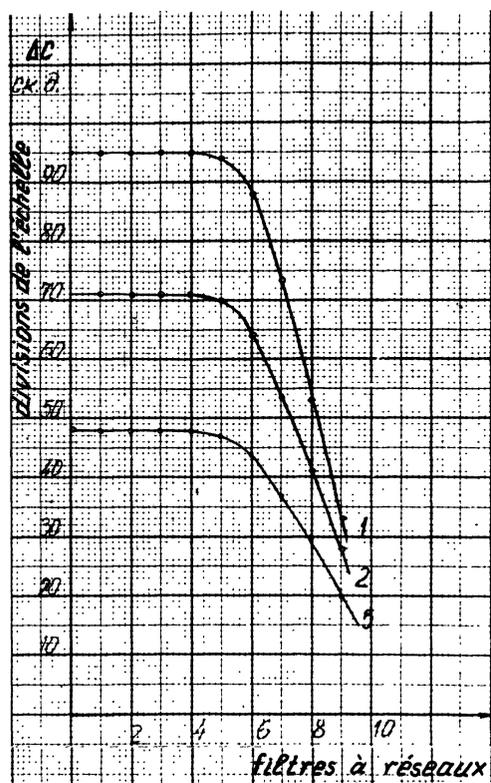


FIG. 3. — Courbes de variation de la capacité en fonction de la grandeur de l'énergie lumineuse d'excitation.

augmentation du nombre des filtres correspond une diminution de l'énergie d'éclairement; l'effet décroît d'une manière presque linéaire. Les courbes obtenues pour les autres échantillons ont un aspect semblable.

De l'aspect des courbes on conclut que la diminution de l'énergie d'éclairement jusqu'à une valeur donnée n'influence pas la grandeur de l'effet.

La décroissance de l'effet survient après cette valeur et s'effectue presque proportionnellement à la diminution de l'énergie.

Par conséquent, avec l'augmentation de l'énergie de la lumière d'éclairement de la lampe à mercure, croît également le nombre d'électrons qui quittent les niveaux de la bande occupée, la variation de la perméabilité diélectrique augmente aussi. Lorsque l'énergie atteint une valeur déterminée, son accroissement au-delà de cette valeur n'amène pas à l'arrachement de nouveaux électrons. On peut tirer cette conclusion également des courbes représentées sur la figure 2.

La figure 4 montre la variation de capacité de l'échantillon 2 lors de son éclairement par lumière monochromatique $\lambda = 578$ nm, à intensité décroissante. La courbe 1 est obtenue en faisant passer la lumière à travers un filtre à filet, la courbe 2 respectivement à travers deux, la courbe 3 à travers trois, etc.

Les courbes de la figure 4 montrent de manière convaincante qu'en lumière monochromatique l'aug-

mentation de capacité se produit sans inertie et qu'on n'atteint une valeur maximale déterminée que lorsque la lumière d'éclairement a une valeur déterminée. En diminuant l'énergie, on atteint la variation maximum de capacité, correspondant à l'énergie plus lentement — avec plus grande inertie.

A l'obscurcissement, la diminution de la capacité

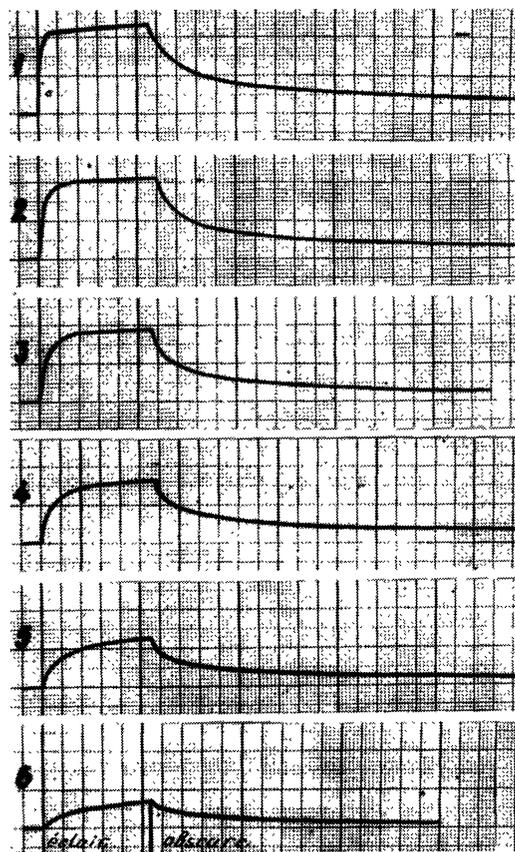


FIG. 4. — Cinétique de la variation de la capacité pour différentes intensités de la lumière d'excitation monochromatique = 578 nm.

jusqu'à sa valeur initiale s'effectue également avec plus d'inertie pour une énergie de la lumière d'éclairement plus faible.

Par conséquent, d'après la forme du front d'augmentation de capacité à l'éclairement, on peut se rendre compte si l'énergie est suffisante pour que l'augmentation de la capacité se produise sans inertie, c'est-à-dire est l'énergie pour laquelle tous les électrons des niveaux de la bande occupée se détacheront momentanément et passeront dans la bande de conduction, pour cette partie du semi-conducteur où la lumière a pénétré.

Afin d'étudier le front des variations de capacité, nous avons utilisé également l'éclairement par impulsions avec une fréquence variable de répétition des impulsions lumineuses.

Nous obtenions les impulsions lumineuses de lumière

blanche ou monochromatique par modulation de cette dernière à l'aide d'un modulateur mécanique formé d'un disque à secteur découpé. En faisant tourner le disque, on laissait passer ou on arrêtait le faisceau lumineux qui tombait perpendiculairement sur l'échantillon examiné, à intervalles de temps égaux. La vitesse angulaire de rotation du disque était réglée moyennant un petit moteur électrique dont la vitesse de rotation était maintenue constante.

Lors de nos expériences, la durée de toutes les impulsions lumineuses était inférieure au temps nécessaire à l'obtention de la valeur maximum stationnaire des variations de capacité.

Afin d'étudier de quoi dépend la forme du front des variations de capacité, nous avons effectué les expériences suivantes : d'une part, nous faisons varier la fréquence de répétition des impulsions lumineuses, et d'autre part l'intensité et la nature de la lumière d'éclairement à une fréquence constante des impulsions.

Là encore, nous faisons varier l'intensité de la lumière d'éclairement au moyen de filtres à filet jouant le rôle de filtres gris. La plus grande intensité,

c'est-à-dire l'intensité de la lumière obtenue en direct de la lampe à mercure, était considérée comme 100 %. On a utilisé également la lumière d'intensité 69 % et 25 %.

Les courbes des figures 5, 6 et 7 ont été relevées avec lumière blanche d'intensité de 100 %, 69 % et 25 % et pour une fréquence de répétition des impulsions

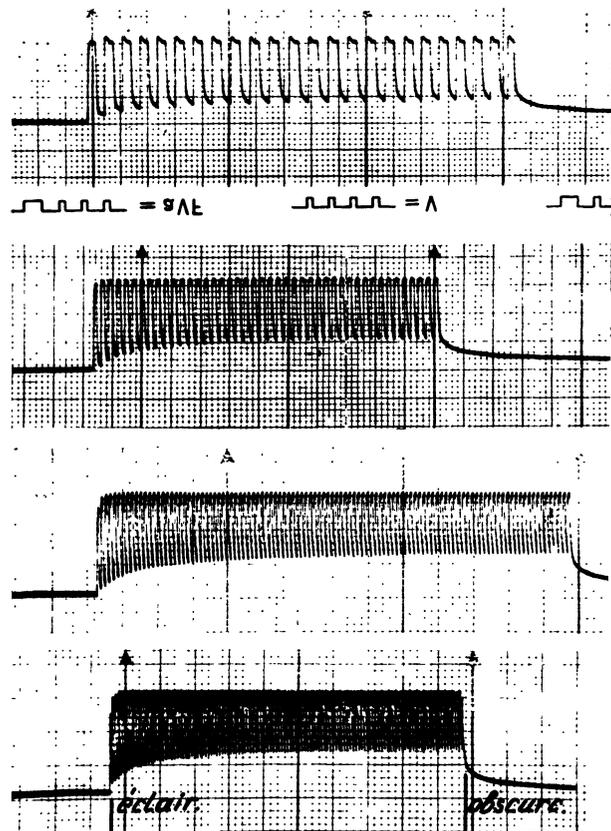


FIG. 5. — Cinétique des variations de capacité en CdS à l'éclairement impulsionnel par lumière blanche d'intensité 100 % et fréquence de répétition des impulsions lumineuses de 0,5, 2, 4 et 6 Hz.

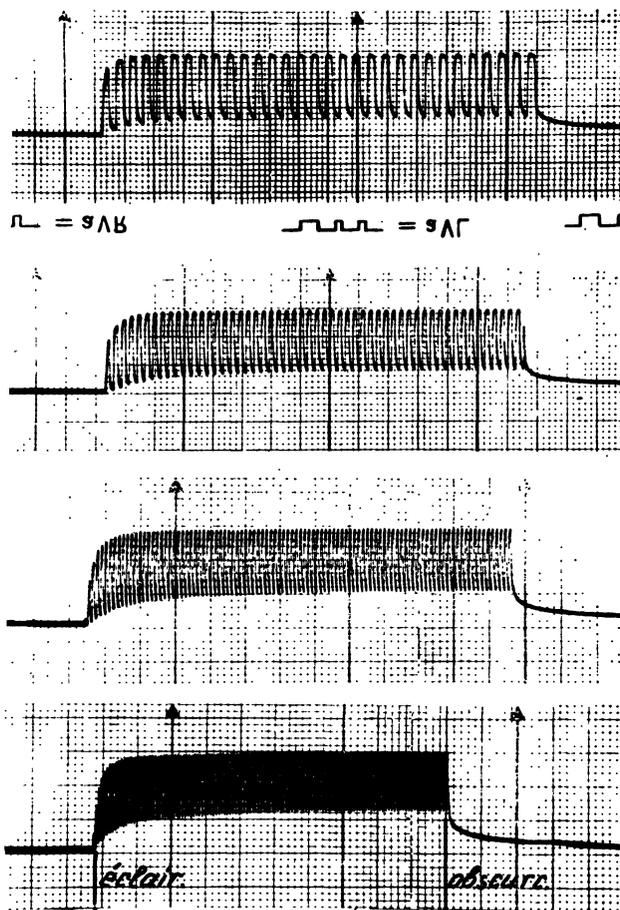


FIG. 6. — Cinétique des variations de capacité en CdS à l'éclairement impulsionnel par lumière blanche d'intensité 69 % et fréquence de répétition des impulsions lumineuses de 0,5, 2, 4 et 6 Hz.

lumineuses respectivement de 0,5, 2, 4 et 6 Hz. Elles montrent que la forme du front des variations de capacité pour chacune ne dépend pas de la fréquence de l'éclairement. Cependant, il est évident que, pour une fréquence plus élevée des impulsions, le front pratiquement se rapproche davantage de celui qu'on aurait obtenu lorsque l'éclairement s'effectuait de façon continue et avec la même intensité de la lumière d'éclairement.

Les figures citées plus haut montrent également qu'aux fréquences utilisées le front des variations de capacité ne dépend que de l'intensité de la lumière

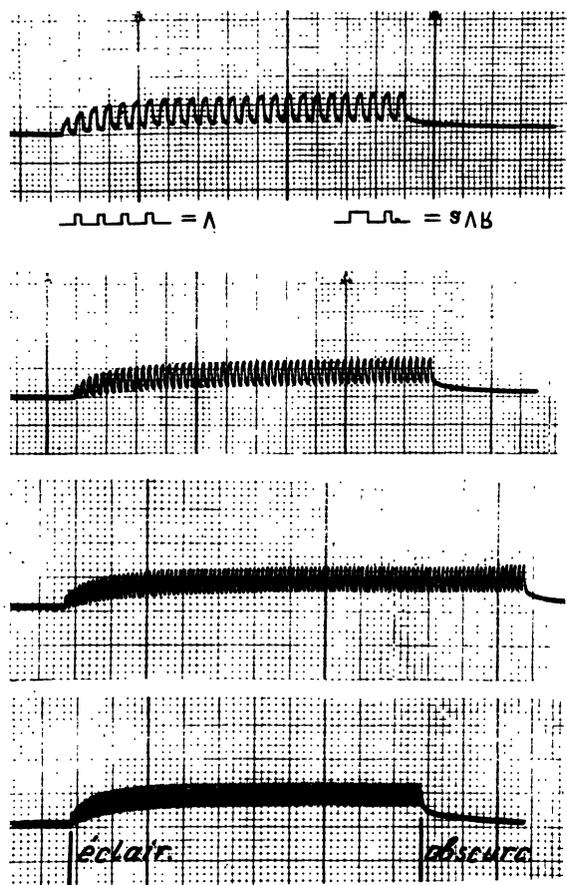


FIG. 7. — Cinétique des variations de capacité en CdS à l'éclairement impulsionnel par lumière blanche d'intensité 25 % et fréquence de répétition des impulsions lumineuses de 0,5, 2, 4 et 6 Hz.

d'éclairement. Si l'intensité diminue, la variation de capacité maximum diminue elle aussi ainsi que la raideur du front qui devient de plus en plus faible, c'est-à-dire l'inertie nécessaire pour atteindre la variation de capacité maximum augmente (fig. 4 et 5). Des mesures semblables ont été effectuées également à l'éclairement impulsionnel par lumière monochromatique $\lambda = 578$ nm et $\lambda = 546$ nm. Des courbes obtenues pour ces longueurs d'onde, on constate que les conclusions faites dans le cas de la lumière blanche sont valables aussi pour la lumière monochromatique impulsionnelle.

Conclusion. — 1. Par l'amélioration de la méthode du pont phaso-sélectif, on a réalisé une séparation plus sûre des variations de la perméabilité diélectrique et

des pertes diélectriques des photorésistances exécutées avec la poudre de CdS comprimée. Par enregistrement on a déterminé de façon précise la cinétique de ces variations.

2. Les variations de la perméabilité diélectrique des photorésistances en poudre de CdS comprimée étaient provoquées par l'éclairement de celle-ci avec la lumière d'une lampe à quartz à mercure complexe et monochromatique. A l'éclairement direct des échantillons, de même qu'avec des ondes $\lambda = 546$ nm et $\lambda = 578$ nm, la variation se produit instantanément et, sans inertie, on obtient une valeur maximum qui reste constante. A l'éclairement par $\lambda = 436$ nm, ainsi que par lumière infrarouge et ultraviolette, les variations suivent une loi exponentielle et sont plus petites. A l'obscurissement, la situation initiale dans tous les cas se rétablit avec une inertie sensiblement plus grande que celle à l'éclairement, un pic n'apparaissant lors de l'obscurissement que si l'éclairement est direct. A l'éclairement simultané par toutes les raies spectrales, l'effet ne représente pas la somme des effets obtenus à l'éclairement par les différentes raies spectrales.

3. La diminution de l'énergie d'éclairement au moyen de filtres jusqu'à une valeur déterminée n'influence pas l'importance de l'effet. Le décroissement commence à partir de cette valeur et il est presque proportionnel à la diminution de l'énergie (fig. 3).

4. L'augmentation de la fréquence de répétition des impulsions lumineuses d'excitation n'exerce pas d'influence sur la valeur maximum de la variation de capacité pour la même intensité de la lumière d'éclairement.

5. Le front des variations de capacité à l'éclairement, c'est-à-dire l'inertie à l'obtention de la valeur stationnaire maximum, est rendu plus abrupt en augmentant la fréquence de la lumière d'excitation. Le nombre des impulsions dans le front s'accroît avec l'augmentation de leur fréquence.

6. La forme du front dépend principalement de l'intensité de la lumière d'éclairement. Avec l'augmentation de l'intensité, l'inertie diminue. Les variations ne se produisent pratiquement sans inertie que pour une valeur déterminée de l'intensité.

7. Le front des variations de capacité à l'obscurissement reste pratiquement inchangé pour une même intensité de la lumière indépendamment de ce que l'éclairement est impulsionnel ou non. Ce front a une forme exponentielle qui, pour les échantillons en question, dépend de l'intensité de la lumière.

Manuscrit reçu le 2 mars 1967.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] IVANOV (S.), *J. Phys. Rad.*, 1958, **19**, 7.
- [2] BORISSOV (M.), *Annales de l'A.S.B., série physique*, 1956, 6.
- [3] GARLICK et GIBSON, *Proc. Roy. Soc., A*, 1947, 188.
- [4] ZAVOÏSKI (T. K.), *G.E.T.F.*, 1936, 6.
- [5] KANTCHEV (P.), *Annuaire de MEI*, v. IV, livre 2, 1957.
- [6] MICHEV (D.), IVANOV (S.), BONTCHEV (L.), *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 1964, **17**, 9.
- [7] KANEV (St.), CHEKERDJIÏSKI (V.), STOÏANOV (V.), *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 1963, **16**, 7.