

ФОТОРЕЗИСТИВНИЙ ТА ФОТОГАЛЬВАНІЧНИЙ ЕФЕКТИ У НАПІВПРОВІДНИКАХ

Анотація: В даній статті поданий фоторезистивного та фотогальванічного ефекту у напівпровідниках, їх актуальні дослідження та математичні описи даних процесів.

Ключові слова: фоторезист, електричне поле, індуктивний ефект, напівпровідник

Abstract: This article presents the photoresistive and photovoltaic effect in semiconductors, their current research and mathematical descriptions of these processes.

Keywords: photoresist, electric field, inductive effect, semiconductor

Вступ

Дослідження фоторезистивного та фотогальванічного ефекту у напівпровідниках є одною з провідних тем для галузі як класичної, так і мікро та наноелектроніки. Оперуючи даними знаннями ми маємо змогу створювати нові прилади з характеристиками які вимагаються при конструюванні. В даній статті виконаний теоретичний аналіз фото ефектів у напівпровідниках, їх математичні розрахунки та основні принципи роботи.

Результати досліджень

На сьогоднішній день створення матеріалів, що проявляють фоточутливість і дозволяють перетворювати енергію світла в електрику, здійснюється в таких напрямках [1]:

- створення нових світлочутливих матеріалів на основі наявних напівпровідників ;
- створення нових органічних фотоелектричних матеріалів на основі багатофункціональних полярних полімерів;
- створення композитів на основі органічних матриць (полімерів) та світлочутливих напівпровідникових фаз;
- виготовлення наноструктурованих композитів, що складаються з світлочутливих неорганічних нанорозмірних частинок та різних матриць (полімер, напівпровідник, кераміка) [1].

Аналіз нещодавно досягнутих результатів в галузі наноелектроніки показує, що наразі існує підвищений попит до вивчення світлочутливих полімерних композитів, а також нанокомпозитів з різними компонентами (фазами) та гетерогенними структурами. Водночас слід зазначити, що спостережувані ефекти у фотокомпозитах, у тому числі синергетичний ефект, безпосередньо пов'язані з виникненням міжфазових меж електронно-іонних процесів [2]. Тому міжфазна взаємодія у фотокомпозитах з полімерної матриці, як фізичної, так і хімічної структур кожного з компонентів композитів, поверхнева активність, електричні властивості та відповідна зміна стану електричних змін у межах міжфазної межі мають велику перевагу у виробництві фотоелектричних матеріалів з різними функціональними властивостями.

Зміна електричного опору напівпровідника під дією випромінювання має назву фоторезистивного або внутрішнього фотоелектричного ефекту. Це явище полягає в збільшенні концентрації носіїв заряду у напівпровіднику під дією світла. Фоторезистивний ефект можна описати величиною величиною світлової провідності σ_{sv} [3].

$$\sigma_{sv} = q_n \mu_n \delta_n + q_p \mu_p \delta_p,$$

де δ_n, δ_p це надлишкові концентрації елементарних носіїв заряду, електронів або дірок, які створення світловим випромінюванням. Якщо світлова провідність буде більше 0, то вважається що резистивний ефект буде додатним, якщо навпаки то від'ємним. Також треба враховувати так звану темнову провідність, провідність яка викликана рівноважними носіями зарядку. Тому доцільно згадати формулу тіншової провідності яка наведена нижче [3].

$$\sigma = q_n \mu_n (n_0 + \delta_n) + q_p \mu_p (n_0 + \delta_p) = \sigma_T + \sigma_{sv}.$$

При дії світла на напівпровідник зростає його провідність, проте в деяких випадках може зростати і його опір. Це пояснюється тим, що порушується стан рівноваги між темною генерацією і рекомбінацією поблизу поверхні напівпровідника за рахунок дії світла, що в свою чергу, при- водить до

зростання швидкості рекомбінації в об'ємі. Таким чином, зменшується концентрація основних носіїв заряду, а отже зростає опір напівпровідника [4,5].

Щоб описати досліджуваний нами фоторезистивний ефект, доцільно скористатися одновимірним рівнянням неперервності [6];

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_n + \frac{1}{q_n} \frac{\partial j_n}{\partial x} - \frac{n - n_0}{\tau_n^f}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G_p - \frac{1}{q_p} \frac{\partial j_p}{\partial x} - \frac{p - p_0}{\tau_p^f},$$

Де G_n, G_p - функції які визначають швидкість генерації елементарних носіїв, n_0, p_0 - рівноважна концентрація носіїв, n, p - концентрація носіїв які генеровані світлом, τ_n^f, τ_p^f - час їх життя. Якщо ж у напівпровіднику відсутній струм, то попередні рівняння набувають такого вигляду

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_n - \frac{n - n_0}{\tau_n^f}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G_p - \frac{p - p_0}{\tau_p^f}$$

При стаціонарному стані $\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial t} = 0$, тому при відомих значеннях швидкості генерації G_n і G_p , ці рівняння матимуть розв'язок

$$n - n_0 = \delta n = G_n \tau_n^f$$

$$p - p_0 = \delta p = G_p \tau_p^f$$

Ці формули отримали назву першого характеристичного співвідношення для фоторезистивного ефекту.

Якщо ж розглядати фотогальванічний ефект то доцільно згадати ефект Дембера. Цей ефект існує в напівпровіднику за відсутності струму, тому напруженість електричного поля буде визначатися за даними формулами [6].

$$\vec{E} = - \frac{\vec{j}_{Dn} + \vec{j}_{Dp}}{\sigma_n + \sigma_p}$$

Де \vec{j}_{Dn} - дифузійна густина струму електронів, \vec{j}_{Dp} - дифузійна густина струму дірок, $\sigma_n = q_n \mu_n n$, $\sigma_p = q_p \mu_p p$, $(\sigma_n + \sigma_p)$ - нерівноважна питома провідність.

Електричне поле, яке виникає при ефекті Дембера, має напрямок, при якому вону гальмує більш рухливі носії заряду, і зворотно прискорює менш рухливі. Ці процеси описуються рівняннями неперервності [6].

$$D \frac{d^2(n-n_0)}{dx^2} + \mu_E E \frac{d(n-n_0)}{dx} - \frac{n-n_0}{\tau_f} = G$$

Отже, ефект Дембера полягає у виникненні електричного поля у напрямку променю світла, яке поглинається напівпровідником. Напруженість поля або електрорушійна сила пропорційні різниці коефіцієнтів дифузії електронів і дірок, оскільки поле Дембера компенсує різницю дифузійних струмів електронів і дірок. Якщо коефіцієнти дифузії рівні між собою, то струми чисельно рівні і протилежно направлені, що відповідає нульовому значенню поля Дембера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. E.M.Godjaev, A.M.Maqerramov, Sh.A.Zeynalov, S.S.Osmanova, E.A.Allaxyarov Electronic processing of materials, № 6, 91 (2010)
2. [LeventParali, Mirza A. Kurbanov, Azad A. Bayramov, N.Tatardar Farida, Ramazanova I. Sultanakhmedova, X. Huseynova Gulnara, Journal of Electronic Materials
3. Киреев П.С. Физика полупроводников. –М.:Высшая школа, 1975.–583 с
4. Осадчук В.С. Индуктивный эффект в полупроводниковых приборах. –К.: Вища школа, 1987. –155 с.
5. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. –Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. –275с.
6. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приладів. –К.: Вища школа, 1972. – 506 с.

Гльчук Дмитро Русланович – аспірант групи 172-20а, факультет інфокомунікацій, радіотехніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: demabels@gmail.com

Науковий керівник **Осадчук Олександр Володимирович** — докт. техн. наук, проф., зав. кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, osadchuk.av69@gmail.com

Pchuk Dmytro Ruslanovich – graduate student group 172-20a, faculty of infocommunications, radio electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail demabels@gmail.com

Supervisor **Alexander Osadchuk** — Doc. Tech. Sc., prof. Head of Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, osadchuk.av69@gmail.com