

11-30-2020

THERMOPHOTOEMF OF HOT CHARGE CARRIERS AT p-n-JUNCTIONS UNDER EXPOSURE TO A MICROWAVE FIELD AND LIGHT

G Gulyamov

Namangan Engineering-Building Institute, 716003 Namangan, Uzbekistan

M G. Dadamirzaev

Namangan Engineering-Building Institute, 716003 Namangan, Uzbekistan, e-mail: dadamirzaev70@umail.uz

M Kosimova

Namangan Engineering-Building Institute, 716003 Namangan, Uzbekistan

M Uktamova

Namangan Engineering-Building Institute, 716003 Namangan, Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Gulyamov, G; Dadamirzaev, M G.; Kosimova, M; and Uktamova, M (2020) "THERMOPHOTOEMF OF HOT CHARGE CARRIERS AT p-n-JUNCTIONS UNDER EXPOSURE TO A MICROWAVE FIELD AND LIGHT," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 5 , Article 12.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss5/12>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

УДК 621.315.592

THERMOPHOTOEMF OF HOT CHARGE CARRIERS AT p-n-JUNCTIONS UNDER EXPOSURE TO A MICROWAVE FIELD AND LIGHT**Gulyamov G., Dadamirzaev M.G., Kosimova M., Uktamova M.**

Namangan Engineering-Building Institute, 716003 Namangan, Uzbekistan

* E-mail: dadamirzaev70@umail.uz**ТЕРМОФОТОЭДС ГОРЯЧИХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДОВ НА p-n-ПЕРЕХОДЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЧ ПОЛЯ И СВЕТА****Гулямов Г., Дадамирзаев, М.Г. Косимова М., Уктамова М.**

Наманганский инженерно-строительный институт, 716003 Наманган, Узбекистан

*E-mail: dadamirzaev70@umail.uz**МИКРОТЎЛҚИНЛИ МАЙДОН ВА ЁРУҒЛИК ТАЪСИРИДА p-n-ЎТИШДАГИ ИССИҚ ЗАРЯД ТАШУВЧИЛАРНИНГ ТЭРМОФОТОЭЮКАСИ****Гуломов Г., Дадамирзаев М.Г., Косимова М., Ўктамова М.**

Наманган муҳандислик-қурилиш институти, 716003 Наманган, Ўзбекистон

*E-mail: dadamirzaev70@umail.uz

Abstract. It is shown that the increase in the current of the p-n junction asymmetric in concentration, caused by the perturbation of the height of the potential barrier and an increase in the recombination current in a strong microwave field, is suppressed under illumination by generated photocarriers, leading to a shift in the $I - V$ characteristic of the p-n junction towards lower current values.

Key words: hot electrons, microwave fields, p-n-junction, illumination, photocurrent, lasing and recombination currents.

Аннотация. Показано, что приращение тока несимметричного по концентрации p-n-перехода, вызываемое возмущением высоты потенциального барьера и увеличением рекомбинационного тока в сильном СВЧ поле, подавляется при освещении генерированными фотоносителями, приводя к перемещению ВАХ p-n-перехода в сторону меньших значений тока.

Ключевые слова: горячие электроны, СВЧ поля, p-n-переход, освещение, фототок, генерационные и рекомбинационные токи.

Аннотация. Потенциал тўсиқ баландлиги безовталаниши ва кучли микротўлқинли майдонда рекомбинация оқимининг қўпайиши натижасида юзага келган p-n бирикмаси асимметрик оқимининг қўпайиши, ҳосил бўлган фотокарерлар ёрдамида ёритишда бостирилиб, p-n бирикманинг $I - V$ характеристикасининг паст оқим қийматларига силжиишига олиб келади.

Таянч сўзлар: иссиқ электронлар, микротўлқинли майдонлар, p-n-бирикма, ёруғлик, фототок, ласинг ва рекомбинация оқимлари.

I. Введение

Известно, что в неоднородном полупроводнике при возникновении температурного градиента между краями полупроводника возникает термоэдс. Неоднородную концентрацию носителей тока в полупроводнике можно создать и искусственно, например, с помощью освещения. Если подогреть одну границу освещенной области, а другую оставить при

прежней температуре, то на концах полупроводника возникает ЭДС [1]. Тауц [2], впервые рассмотревший этот эффект, назвал его термофотоэлектрическим эффектом. Экспериментальные измерения Тауца показали, что при обычном градиенте температур этот эффект мал, хотя его и можно наблюдать.

Однако если греть только носителей тока, например СВЧ полем, то можно достигнуть гораздо более высоких температур, а следовательно, и больших значений напряжений. Такой эффект наблюдали Репшас и Ашмонтас [3], но они получили очень небольшие значения напряжений, которое они назвали фотоградиентной ЭДС горячих носителей тока. Такое название применялось в некоторых случаях для обозначения объемной фотоэдс, вызванной неоднородным распределением примесей в полупроводнике [3].

В работе [4] теоретически и экспериментально рассмотрен термофотоэлектрический эффект горячих носителях в германии n- и p-типа при температуре решетки 300 и 77K. Показано, что в слабых полях эффект пропорционален квадрату разогревающего поля, а в сильных – разогревающему полю. Экспериментально в сильных полях наблюдалось насыщение и даже уменьшение эффекта. Кроме того, установлено, что эффект оказался чрезвычайно чувствительным к виду зависимости времени релаксации импульса носителей от их энергии и к потенциалу на поверхности.

В работе [5] исследовано изменение фотоэдс на p-n-переходе в германии при разогреве носителей тока. Показано, что фотоэдс возрастает пропорционально температуре неосновных носителей. Измерение фотоэдс на горячих носителях является простым и точным методом определения температуры горячих неосновных носителей тока.

Схема эксперимента приведена в работе [4]. Образец помещался в волновод и освещался через щель в широкой стенке волновода. Те части образца, которые не должны были подвергаться действию света (в частности, контакты), прикрывались черной бумагой. Так как контакты образца были вне действия света и СВЧ поля, то ЭДС, возникающая в полупроводнике, определялась только изменением температуры и концентрации носителей тока внутри образца.

А в работе [1] исследовано изменение фотоэлектрических характеристик кремниевых p-n-переходов в сильном СВЧ поле. Показано, что высота барьера p-n-перехода в сильном СВЧ поле и уменьшение барьера при освещении p-n-перехода пропорциональны высоте начального барьера, если последний уменьшен прямым смещением. Вблизи нулевого смещения и при обратном смещении эта пропорциональность нарушается за счет влияния обратного тока через p-n-переход.

Предложен механизм увеличения барьера p-n-перехода, основанный на учете генерационно-рекомбинационных процессов в слое объемного заряда. В процессе проведения эксперимента предварительно измерялись ВАХ неосвещенного и освещенного p-n-перехода без воздействия СВЧ поля. При воздействии СВЧ поля на образце возникает дополнительная импульсная ЭДС, и через нагрузку проходит дополнительный импульсный ток. Таким образом, были построены ВАХ кремниевого p-n-перехода при действии СВЧ поля без освещения и при освещении [1]. Однако вышеуказанных работах теоретически не исследовано термофотоэлектрические эффекты горячих носителей заряда несимметричного p-n-перехода.

Целью настоящей работы является теоретическое исследование термофотоэлектрического эффекта горячих носителей тока на несимметричном p-n-переходе.

II. Теоретическое исследование термофотоэлектрические эффекты горячих носителей заряда несимметричного p-n-перехода

Среднее значение полного тока проходящих через диод состоит из электронных и дырочных токов и определяется следующим выражением [6,7]:

$$\bar{I} = I_{se} \left\{ \left(\frac{T_e}{T} \right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U)}{kT_e} \right) \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_B \cos(\omega t)}{kT_e} \right) \frac{d(\omega t)}{2\pi} - 1 \right\} +$$

$$+ I_{sh} \left\{ \left(\frac{T_h}{T} \right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U)}{kT_h} \right) \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_B \cos(\omega t)}{kT_h} \right) \frac{d(\omega t)}{2\pi} - 1 \right\}. \quad (1)$$

где, $j_{se} = \frac{eD_e n_p}{L_e}$; $j_{sh} = \frac{eD_h p_n}{L_h}$ - токи насыщения для электронов и дырок; φ_0 - высота потенциального барьера в отсутствие электромагнитной волны; $\varphi = \varphi_0 - U$; U - возникающее напряжение на диоде; $U_B = -\int_0^d E_B dx$ - переменное напряжение падающей волны, созданное на барьере диода; T -температура решетки; k -постоянная Больцмана; T_e и T_h - температуры электронов и дырок; E_B -напряженность электрического поля волны; e -заряд электрона; D_e и D_h - коэффициенты диффузии электронов и дырок, L_e и L_h - их длины диффузии; n_p и p_n - концентрации неосновных носителей заряда.

Если не учесть в формуле (1) нагревание носителей зарядов и возмущение высоты потенциального барьера ($T_e = T_h = T$; $U_B = 0$), то имеем

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

эта формула совпадает с классической вольт-амперной характеристикой на p - n -переходе как показано в работе [8].

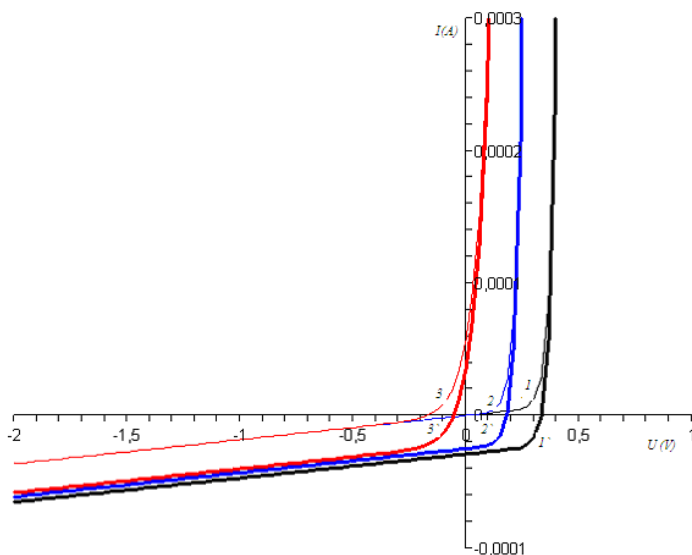


Рис.1. ВАХ p - n -перехода: 1- без освещения и без СВЧ поля, 1'- при освещении и без СВЧ поля; 2- без освещения и при низких мощностях СВЧ волны, 2'- при освещении и при низких мощностях СВЧ волны; 3- без освещения и при больших мощностях СВЧ волны, 3'- при освещении и при больших мощностях СВЧ волны

эффективных преобразователей энергии солнечного света в электрическую [8].

После создания первых медно-закисных выпрямителей было обнаружено, что при освещении поверхности закиси меди светом соответствующей длины волны в цепи выпрямителя начинает течь ток при отсутствии внешней э.д.с. На этой основе были созданы специальные приборы - фотоэлементы с запиорным слоем для преобразования световых сигналов в электрические.

Медно-закисные фотоэлементы не использовались для энергетических целей, так как их коэффициент полезного действия не превышал долей процента. Только после того, как для изготовления фотоэлементов стали использовать германий и особенно кремний, стало возможным применение фотоэлементов как

Как известно, фототок возникает лишь при освещении таким светом, энергия кванта которого достаточна для образования пары электрон-дырка, т.е. превышает ширину запрещенной зоны. Свет такой длины волны сильно поглощается, поэтому пары образуются вблизи границы.

Согласно формуле (34.16) в работе [8], полный ток фотодиода можно записать в виде (когда $I_{\phi} \neq 0$; $T_e = T_h = T$; $U_B = 0$)

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - eI_0(1 - \beta_0), \quad (3)$$

где, $I_c = eI_0(1 - \beta_0)$, β_0 - общие потери на объемную и поверхностную рекомбинацию. Первое слагаемое – это так называемый темновой ток, второе слагаемое – это световой ток. Формула (3) выражает правило аддитивности, согласно которому полный ток фотодиода равен сумме темнового тока, определяемого приложенным напряжением и не зависящего от освещения, и светового тока, равного числу генерируемых пар за вычетом потер на рекомбинацию, который не зависит от приложенного напряжения.

Согласно (1), при низких мощностях СВЧ волны можно не учитывать разогрев электронов и дырок (когда $I_c = 0$; $T_e = T_h = T$; $U_B \neq 0$), тогда ток через диод возникает только вследствие возмущение высоты потенциального барьера, и он определяется по формуле:

$$\bar{I}(U_B) = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_B \cos(\omega t)}{kT}\right) \frac{d(\omega t)}{2\pi} - 1 \right], \quad (4)$$

С помощью (4) определяем термофотозлектрическую вольт-амперную характеристику при низких мощностях СВЧ волны (когда $I_c \neq 0$; $T_e = T_h = T$; $U_B \neq 0$):

$$\bar{I}(U_B, I_c) = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_B \cos(\omega t)}{kT}\right) \frac{d(\omega t)}{2\pi} - 1 \right] - I_c \quad (5)$$

Отсюда видно, что на ВАХ влияют возмущение высоты потенциального барьера и свет.

При высоких мощностях СВЧ волны (когда $I_c = 0$; $T_e \neq T_h > T$; $U_B \neq 0$) ВАХ диода определяется с помощью (1).

Фото ВАХ р-n-переходов при высоких мощностях СВЧ волны (когда $I_c \neq 0$; $T_e \neq T_h > T$; $U_B \neq 0$) определяется при помощи (1) в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{I} = I_{se} \left\{ \left(\frac{T_e}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U)}{kT_e}\right) \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_B \cos(\omega t)}{kT_e}\right) \frac{d(\omega t)}{2\pi} - 1 \right\} + \\ + I_{sh} \left\{ \left(\frac{T_h}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U)}{kT_h}\right) \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_B \cos(\omega t)}{kT_h}\right) \frac{d(\omega t)}{2\pi} - 1 \right\} - I_c \end{aligned} \quad (6)$$

Из приведенных выражениях можно построит ВАХ р-n-переходов при разных условиях (рис.1).

Заключение

Разработана теория фотоэдс горячих носителей заряда в р-n-переходе в сильном СВЧ поле. Получено аналитическое выражение для ВАХ освещенного р-n-перехода в сильном СВЧ поле. Сильное увеличение токов р-n-перехода обусловлено тем, что разогрев возмущает высоту потенциального барьера и увеличивает рекомбинационные токи в р-n-переходе. В то

время освещения увеличивает генерационный ток в диоде. Так как генерационные и рекомбинационные токи направлены противоположно, то освещение образца приводит к перемещению ВАХ p-n-перехода в сторону меньших значений тока. Освещение уменьшает общий ток, проходящий через диод в сильном СВЧ поле. Полученные теоретические результаты качественно соответствует с экспериментальными результатами А.И.Вейнгера [1].

References:

- [1]. Ablyazimova N.A., Veynger A.I., Pitanov V.S. Vliyanie silnogo SVCH polya na fotoelektricheskie svoystva kremnievix p-n-perexodov// Fizika i texnika poluprovodnikov.– Sankt Peterburg, 1992.- t.26. № 6. -S.1041-1047.
- [2]. Tauts Ya. Foto- i termoelektricheskie yavleniya v poluprovodnikax.- Moskva: IL, 1962.-192s.
- [3]. Ashmontas S.P. Seriya monografiy «Elektroni v poluprovodnikax» №5. Elektrogradientnie yavleniya v poluprovodnikax. Pod redaktsiey Pojela Yu. –Vilnyus: MOKSLAS, 1984.-183s
- [4]. Veynger A.I., Kramer N.I., Paritsskiy L.G., Abdinov A.SH. Termofotoelektricheskiy effekt pri razogreve nositeley toka v germanii// Fizika i texnika poluprovodnikov. – Leningrad, 1972. – t.6. № 2. - S. 353-359.
- [5]. Akopyan E.A., Veynger A.I., Paritsskiy L.G. Fotoeds goryachix nositeley toka na p-n-perexode// Fizika i texnika poluprovodnikov. – Leningrad, 1974. – t.8. № 4. - S. 754-759.
- [6]. Dadamirzaev M.G. Heating of Charge Carriers and Rectification of Current in Asymmetrical $p-n$ Junction in a Microwave Field// Semiconductors. –USA, 2011, -vol. 45, No.3, pp. 288–291.
- [7]. Dadamirzaev M.G. Influence of Deformation on CVC p-n-Junction in a Strong Microwave Field// Journal of Modern Physics–USA, 2015, - Vol. 6, rr. 176-180.
- [8]. Pikus G.E. Osnovy teorii poluprovodnikovix priborov. -Moskva: Nauka, 1965. - 448s.