

# ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА КВАЗИУРОВЕНЬ ФЕРМИ И ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ С P-N ПЕРЕХОДОМ

*Б.Б. Шахобиддинов*

*Старший преподаватель Наманганского инженерно-строительного института*

**Аннотация:** В данной работе изучалось влияние света на характеристики диодов с p-n переходом, а также рассматривалась связь вольт-ампер характеристик диода с p-n переходом с изменением квазиуровней Ферми под действием света.

**Ключевые слова:** ЭЮК – электродвижущая сила, ВАХ – вольтамперная характеристика, квазиимпотенциал.

**Abstract:** In this work, the influence of light on the characteristics of diodes with a p-n junction was studied, and the connection between the volt-ampere characteristics of a diode with a p-n junction and the change in Fermi quasi-surfaces under the influence of light was considered.

**Key words:** EMC – electromotive force, VAC – current-voltage characteristic, quasi-impotential.

Определить изменение квазиуровня Ферми из-за увеличения концентрации носителей электрического тока в полупроводниках под действием света можно с помощью следующего выражения:

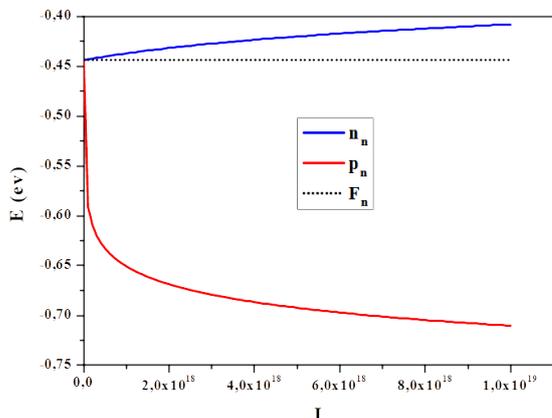
$$F_e = k T_e \ln\left(\frac{n}{N_c}\right) = k T_e \ln\left(\frac{n_0 + I\beta\alpha\tau_e}{N_c}\right) \quad (1)$$

$$F_h = -E_g - k T_h \ln\left(\frac{p}{N_v}\right) = -E_g - k T_h \ln\left(\frac{p_0 + I\beta\alpha\tau_r}{N_v}\right) \quad (2)$$

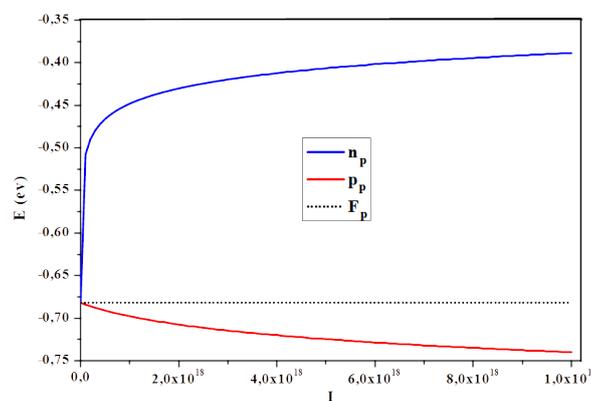
Если мы выберем, чтобы электроны и дырки находились при комнатной температуре, то  $T_e = T_h = T = 300$  К, а если  $I = 0$  для точки, куда свет не падает, то  $F_e = F_h = F$ .

Теперь, используя выражения (1) и (2), изменение квазиуровней Ферми электронов и дырок в n- и p-сферах можно рассчитать, используя следующие численные значения для основных и неосновных носителей заряда. Мы установили, что квазиуровни Ферми основного электрона, несущего заряд в n-поле, переместился вверх, а квазиуровни Ферми неосновных носителей заряда - дырок, перемещается вниз (рис. 1). В n-поле можно наблюдать большее изменение квазиуровней Ферми неосновных носителей заряда, т. е. дырок, чем квазиуровней Ферми электронов. В p-области квазиуровни Ферми неосновного носителя заряда, т.е. электрона, движется вниз, а

квазиуровни Ферми дырок – вверх. В р-области мы наблюдаем большее изменение квазиуровней Ферми неосновных электронов, несущих заряд, чем квазиуровней Ферми дырок, несущих основной заряд. Основная причина этого заключается в том, что концентрация носителей заряда, генерируемых под действием света, близка к концентрации неосновных носителей заряда (рис. 2).



**Рисунок 1. Расщепление уровней Ферми полупроводника n-типа на квазиуровни Ферми под действием света.**



**Рисунок 2. Расщепление уровней Ферми полупроводника p-типа на квазиуровни Ферми под действием света.**

Видно, что квазиуровни Ферми неосновных носителей заряда в р- и n-полях изменяются сильнее, чем квазиуровни Ферми основных носителей тока. Так, под воздействием определенной интенсивности происходит изменение квазиуровней Ферми основных носителей заряда в n-области и неосновных носителей заряда в р-области или, наоборот, от различия квазиуровней Ферми неосновных носителей заряда в n-области и основных в р-области мы можем определить фотоЭДС, т.е. по разности начальной высоты потенциального барьера и высоты образованного потенциального барьера. То есть мы можем найти фотоЭДС  $E = \phi - \phi_0$  через высоты потенциального барьера  $\phi_0 = F_{e0} - F_{p0}$ ,  $\phi = \Delta F_e - \Delta F_p$  для кремния. Или же мы можем рассчитать, используя выражение (3).

$$E = \pm kT \ln \left( \frac{n_0 + \Delta n}{n} \right) \quad (3)$$

Здесь  $\Delta n$  и  $n$  — концентрации освещенной и неосвещенной сторон полупроводника. Выражение (3) и высота потенциального барьера, сформированная из разницы квазиуровней Ферми выше, предполагали однородные значения фотоЭДС, определяемые из разницы исходной высоты

потенциального барьера. Таким образом, мы можем найти фотоЭДС, используя квазиуровни Ферми.

В диодах при отсутствии светового эффекта ЭДС не генерируется, т.е.  $E=0$ . И в правду, когда  $I=0$  и  $U=0$ , диод находится в термодинамическом равновесии. Не будет ЭДС и тока. Как известно, фототок, генерируемый светом в полупроводниках с р-п-переходом, связан с вольт-амперной характеристикой следующим образом.

$$J = J_s \left( e^{\frac{eu}{kT}} - 1 \right) - J_f \quad (4)$$

Здесь  $J_f$  — фототок, возникающий под действием света, и его можно выразить следующим образом.

$$J_f = \frac{e\beta I \alpha}{h\nu} \quad (5)$$

Здесь  $b$  — квантовое поглощение, мы приняли его равным  $b=1$ ,  $I$  — интенсивность света, падающего на единицу поверхности,  $h$  — постоянная Планка,  $\nu$  — частота света,  $\alpha$  — коэффициент поглощения света. Из выражения (5), (4) можно записать следующее.

$$J = J_s \left( e^{\frac{eu}{kT}} - 1 \right) - \frac{e\beta I \alpha}{h\nu} \quad (6)$$

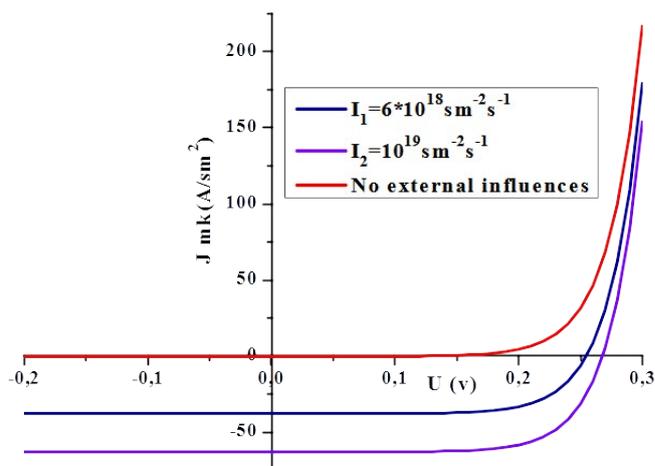
а если заменить числовые значения, то наблюдается перемещение графического положения вольт-амперной характеристики (ВАХ) вниз.

Видно, что разница между графиками показывает сдвиг положения, соответствующего различию квазиуровней Ферми. Это позволяет определять квазипотенциалы электронов и дырок в р-п переходе по светоиндуцированной вольт-амперной характеристике.

Если мы наблюдаем воздействие внешней деформации на полупроводники с р-п переходом одновременно со светом, мы знаем, что энергия поглощенного фотона равна энергии запрещенной зоны  $\hbar\omega = E_g$ , и это красный предел фотоэффекта. Если условие  $\hbar\omega < E_g$ , внутренний фотоэффект не наблюдается. При выполнении условия  $\hbar\omega > E_g$  начинают генерироваться электроны и дырки.

Если ширина полосы не изменяется внешним воздействием, красная пороговая частота не изменится, в противном случае поглощением света можно управлять, изменяя ширину полосы. Например, рассмотрим взаимосвязь между частотой света и коэффициентом поглощения света. Как уже говорилось выше, влияние света на вольт-амперную характеристику полупроводников р-п-перехода определяется с помощью выражения (6). В

ЭТОМ выражении давление влияет на коэффициент светопоглощения и ток насыщения.



**Рисунок 3. Вольт-амперная характеристика диода с р-п переходом под воздействием различной интенсивности света.**

Именно так описана вольт-амперная характеристика. При этом мы можем наблюдать, что фотоЭДС увеличивается с ростом интенсивности света, а ток насыщения ВАХ снижается. Используем рисунки 1 и 2, или воспользовавшись выражением (3), рассчитаем фотоЭДС с использованием изменения квазиуровней Ферми под действием интенсивности, 0,26 В для интенсивности  $I=6 \cdot 10^{18}$  и 0,27 В ЭДС для интенсивности  $I=10^{19}$ .

#### Литературы

1. Gafur Gulyamov, Bahodir Shahobiddinov, Alisher Soliyev, Shoxruh Nazarov, Bahtiyor Mislidinov Change in the Fermi Quas Level and Current – Voltage Characteristics of Diodes with a p-n Junction under the Action of Light and Deformation // AIP Conference Proceedings 2700 (1), 020016. <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0124940>
2. Gafur Gulyamov , Bahodir Shahobiddinov , Alisher Soliyev & Shoxrux Nazarov Microwave Effect on the Characteristics of P-N Junction Diodes Journal of optoelectronics laser Volume 41 Issue 9, 2022 (Scopus) <http://www.gdzjg.org/index.php/JOL/article/view/1143>
3. Gulyamov G., B.B, Shakhobiddinov, Majidova G.N, and Mukhiddinova F.R. "Effect of ultrahigh frequency fields on the photoelectric characteristics of pn conducting semiconductor diodes." *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering* 3.2 (2021): 29-34.
4. G. Gulyamov, B.B. SHaxobiddinov, G.N. Majidova, D.O. Qurbonova. p-n o'tishli diodlarning Fermi kvazi sathi va volt-ampere xarakteristikasiga mikroto'lqin ta'siri. "Fan va Jamiyat" Nuks 2022 4-son.

5. Г.Гулямов, А.Г.Гулямов, Б.Б.Шахобиддинов, Г.Н.Мажидова, Мухиддинова Ф.Р. Изменения квазиуровней ферми в кремниевых р-п переходах при воздействии света и деформации и их влияние на вольт-амперные характеристики диодов.// Научный вестник наманганского государственного университета 2020/ (ОАК: 01.00.00. №8) стр 11-18
6. Г.Гулямов, А.Г.Гулямов, Б.Б.Шахобиддинов, Г.Н.Мажидова, М.А.Усманов. Связ квазиуровней Ферми горячих электронов и дырок с вольт – амперной характеристикой  $p - n$  перехода. // Научный вестник наманганского государственного университета 2020/4 С.9-15 (ОАК: 01.00.00. №3)
7. Г.Гулямов, А.Г.Гулямов, Б.Б.Шахобиддинов, Г.Н.Мажидова, А.А.Абдукаримов. Влияние изменений квазиуровней Ферми электронов и дырок на вольт-амперные характеристики  $p - n$  переходов, при воздействии микроволнового излучения. // Научный вестник Бухарского государственного университета 2020/4(75). (ОАК: 01.00.00. №3)
8. Gulyamov G., Majidova G. N., Influence of electron and phonon heating on the characteristics of solar photocells // *Romanian journal of physics*. 2023. Vol.68. No. 3-4. pp.110-115. <https://www.scopus.com/sourceid/11500153309>
9. Gulyamov G., Majidova G. N., Mukhitdinova F. R., Madumarova S.Q., Changes in Diodes With a  $p-n$  – Transition Under the Influence of Microwave Radiation // *AIP Conference Proceedings* 2700, 050008 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0126385>
10. Gulyamov G., Majidova G.N., Mukhitdinova F.R., Davlataliyeva N.M Studying the influence of a magnetic field on diodes with  $p-n$  junction // *Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research*. 2022. Vol.4. Iss.1. pp.11-16. (01.00.00, №13).
11. Gulyamov G., Majidova G. N., Mukhitdinova F.R., Madumarova S.Q Diodning volt-amper xarakteristikasini turli ta'sirlarga sezgirligi // *Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi*. 2022. №5. 38-46 betlar. (01.00.00; №14).
12. Gulyamov G., Majidova G.N., Mukhitdinova F.R Quyosh fotoelementining xarakteristikalarining tashqi ta'sirlarga sezgirligi // *Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi*. 2022. №3. 3-6 betlar. (01.00.00; №14)
13. Gulyamov G. , Majidova G.N. Potensial to'siqlarning tenzosezgirligi va ta'qiqlangan zona kengligini deformatsiyaga bog'liqligi // *Buxoro davlat universiteti ilmiy axboroti*. 2018. №4 (72). 26-30 betlar.(01.00.00; №3)
14. Gulyamov G. Majidova G.N., Mukhitdinova F.R., Mamarizaeva S.O. P-n o'tishli diodning volt-amper xarakteristikasiga magnit maydon va yorug'likning ta'siri // *Ilm sarchashmalari*. 2022. №7. 17-20 betlar. (01.00.00; №12)

15. Gulyamov G. Majidova G.N., Muxitdinova F.R., Mamarizaeva S.O.  
Fotoelement volt-amper xarakteristikalariga elektromagnit to'liqning ta'siri //  
*Fan va Jamiyat ilmiy-uslubiy jurnal*. 2022. №2 15-17 betlar. (01.00.00; №15)