

## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

## International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2017 Issue: 03 Volume: 47

Published: 30.03.2017 <http://T-Science.org>

**Kusharbay Tashbayevich Suyarov**  
Senior research scientist  
The Nizami Tashkent State Pedagogical  
University  
[anvar.ilmiy@mail.ru](mailto:anvar.ilmiy@mail.ru)

### SECTION 3. Nanotechnology. Physics.

## RESEARCH OF CURRENT- VOLTAGE CHARACTERISTIC OF PHOTOCONDUCTOR

**Abstract:** The paper is devoted to research of current-voltage characteristic photoconductor in darkness at lighting.

**Key words:** semiconductors, current-voltage characteristic, photoconductor, resistance in darkness, photoconductivity.

**Language:** Russian

**Citation:** Suyarov KT (2017) RESEARCH OF CURRENT- VOLTAGE CHARACTERISTIC OF PHOTOCONDUCTOR. ISJ Theoretical & Applied Science, 03 (47): 195-199.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-03-47-28> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2017.03.47.28>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОРЕЗИСТОРА

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию вольт-амперной характеристики фоторезистора в темноте и при освещении его интегральным светом в собственной области поглощения.

**Ключевые слова:** полупроводник, вольтамперная характеристика фоторезистор, сопротивление при темноте, сопротивление при освещении.

#### Introduction

Статья посвящена исследованию вольт-амперной характеристики фоторезистора в темноте и при освещении его интегральным светом в собственной области поглощения.

Общеизвестно, что при обучении курса физики на основе углубленной её программы для соответствующих учебных заведений или классов, в силу развития современной физики, техники и новых применяемых методов исследований предполагает углубить теоретических знаний и практических умений учащихся в обучении физике. Один из таких направлений является изучение свойств полупроводниковых элементов и их физических свойств. Данная статья посвящена одному из таких вопросов организации лабораторной работы – изучению вольт – амперной характеристики фоторезисторов в углубленных классах.

Фоторезисторы - это полупроводниковые элементы, которые под действием света меняют электрическое сопротивление. Принцип работы фоторезисторов основан на внутреннем фотоэлектрическом эффекте. При поглощении

энергии кванта излучения в собственной области поглощения за счет отрыва ковалентной связи атомов полупроводника в них генерируются свободные электронно-дырочные пары, что приводит к резкому увеличению концентрации носителей тока и повышению электропроводности. В отличие от электронно-дырочных переходов или различных других диодных структур типа барьеров Шоттки (переход металл-полупроводник, имеющий внутренний разделяющий барьер) в фоторезисторах отсутствует внутренний электрический барьер, разделяющий носителей тока. Направленное движение электронов и дырок осуществляется под действием внешнего электрического поля, создаваемого потенциалами металлических электродов, припаянных на различных концах фоторезистора (металлические контакты являются не только электродами, задающий потенциал, но и участвуют в сборе носителей тока).

Фоторезисторы широко используются в самых различных областях науки, техники и производства. Они применяются для регистрации и измерения слабых световых потоков как в



## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

видимой, так и в невидимой инфракрасной области излучения. В связи с этим изучение фоторезисторов включено в программу учебных заведений среднего специального образования с углублённым обучением физике в академических лицеях [1].

### Materials and Methods

В настоящей работе приводятся некоторые результаты исследования электрофизических

свойств фоторезисторов, которые имеются в кабинетах физики академических лицеев, представленных ПО «Эл-Холдинг» (Узбекистан). Экспериментальные результаты были получены на измерительной установке, электрическая схема которой представлена на рис. 1

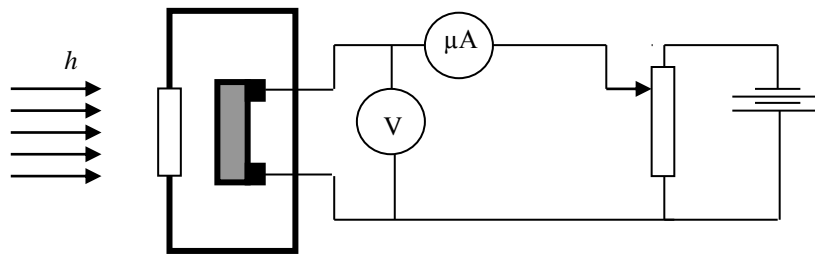


Рисунок 1 - Электрическая схема измерительной установки для снятия вольт-амперной характеристики фоторезистора.

На эксперименте были изучены вольт-амперные характеристики фоторезистора в темноте и при облучении его интегральным светом от ртутной лампы в широком интервале внешнего электрического напряжения как в положительном, так и в отрицательном направлениях. Вся измерительная часть установки была помещена в экранированный от внешнего освещения специальном ящике. На основе экспериментально полученных вольт-амперных характеристик фоторезистора в темноте было вычислено его темновое

электрическое сопротивление, которое имело значение равное 9,9 МΩ (рис. 2). Из этого графика видно, что зависимость тока от приложенного напряжения в обоих направлениях имеет чисто линейный характер –  $I \sim U$ , это означает, что перенос тока через фоторезистор подчиняется закону Ома. Эти результаты также подтверждают, что металлические контакты являются чисто омическими, структура не имеет выпрямляющего свойства, следовательно, на контактах отсутствуют внутренние барьеры.

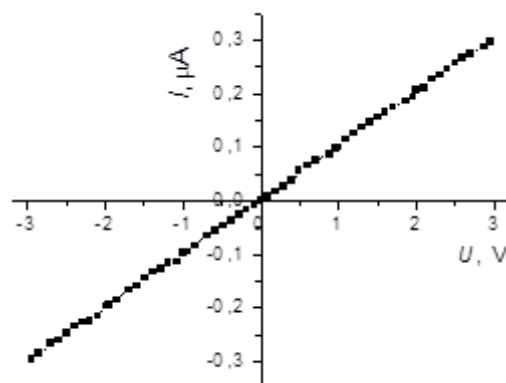
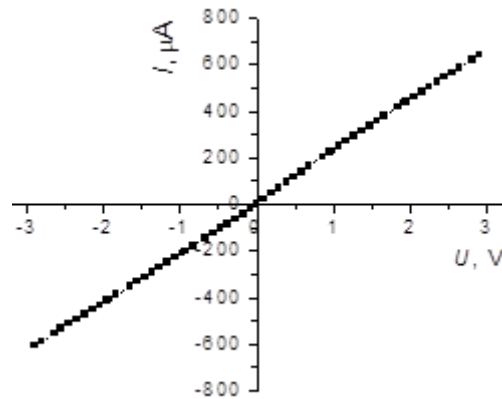


Рисунок 2 - Вольт-амперная характеристика фоторезистора при темноте.  $R_{\text{тем}} = 9,9 \text{ М}\Omega$ .



**Рисунок 3 - Вольт-амперная характеристика фоторезистора при освещении.  $R_{\text{фото}} = 4,58 \text{ к}\Omega$ .**

На рис.3 показана вольт-амперная характеристика фоторезистора при освещении его интегральным светом от ртутной лампы в области собственного поглощения. Видно, что как в темноте, так и при освещении фоторезистора сохраняется линейная зависимость между током и напряжением  $-I \sim U$ . Однако, при освещении наблюдается резкий рост силы тока примерно в 2000 раз, что означает уменьшение сопротивления фоторезистора примерно в столько же раз. На основе этих данных было определено величина сопротивления фоторезистора при освещении, которое имело значение  $\sim 4,58 \text{ к}\Omega$ . Эти результаты показывают также, что освещение не приводит к появлению внутренних барьеров, т.е. выпрямляющие свойства структуры и в этом случае не проявляются.

Строго линейный характер зависимости  $I \sim U$  как в темноте, так и при освещении говорит еще о том, что на контактах металл-полупроводник также отсутствуют разделяющие барьеры, т.е. они являются омическими.

Высокая фоточувствительность фоторезистора свидетельствует о том, что фоторезистор является слаболегированным полупроводником, и в нем концентрация свободных электронов близка к концентрации свободных дырок. Ток через фоторезистор определяется суммарным током, образованным свободными электронами ( $I_n$ ) и свободными дырками ( $I_p$ ), т.е.:

$$I = I_n + I_p. \quad (1)$$

Когда образец однородный и отсутствуют внутренние барьеры, влияющие на движение носителей тока, электрический ток через образец определяется только упорядоченными движениями электронов под действием разности потенциалов, приложенных к концам образца, и плотность тока через образец можно выразить следующим образом:

$$J = q \cdot n \cdot v, \quad (2)$$

где  $q$  – элементарный заряд,  $n$  – концентрация свободных электронов,  $v$  – скорость упорядоченного движения электронов. На основе (1) и (2) для плотности тока исследованного фоторезистора можно написать следующее выражение:

$$J = J_n + J_p = q \cdot n \cdot v_n + q \cdot p \cdot v_p, \quad (3)$$

где  $J_n$ ,  $J_p$  – плотности тока, образованные свободными электронами и дырками, соответственно,  $v_n$ ,  $v_p$ , – средние скорости упорядоченного движения электронов и дырок, соответственно,  $p$  – концентрация свободных дырок.

Как показывают результаты эксперимента при малых значениях напряжения и силы тока, (рис. 2, рис. 3), концентрация свободных электронов и дырок, а также скорости  $v_n$ ,  $v_p$  не зависят от приложенного напряжения, и соответственно, от напряженности электрического поля ( $E$ ). При постоянной силе тока  $I_n$ ,  $I_p$ , согласно выражению (2), также постоянны. Но при этом на электроны и дырки действует со стороны поля постоянная сила  $F = q \cdot E$ . Если электрическое поле перестаёт действовать на заряженные частицы, то под действием сопротивления среды ток быстро прекращается, т.е. прекращается упорядоченное движение носителей тока. Время, за которое практически прекращается упорядоченное движение зарядов, называется временем релаксации.

При малых токах скорости  $I_n$  и  $I_p$  плотности тока имеют также малые значения (3), следовательно, силы сопротивления среды, действующие на электроны ( $F_{c,n}$ ) и на дырок ( $F_{c,p}$ ), можно считать прямо пропорциональными скоростям  $v_n$  и  $v_p$ , т.е. [2]:

$$F_{c,n} = k_n \cdot v_n, \quad F_{c,p} = k_p \cdot v_p \quad (4)$$

где  $k_n, k_p$  – коэффициенты для электронов и дырок соответственно, считаем независимыми от скорости и, соответственно, от приложенного электрического поля в образце. По второму закону Ньютона уравнения движения электронов и дырок описываются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} m_n \frac{dv_n}{dt} &= q \cdot E - k_n v_n, \\ m_p \frac{dv_p}{dt} &= q \cdot E - k_p v_p \end{aligned} \quad (5)$$

где  $m_n, m_p$  – массы свободных электронов и дырок в полупроводнике, соответственно. Считаем, что при малых электрических полях  $m_n, m_p$  постоянны. Если в момент времени  $t = 0$  сила оказалась равной нулю  $F = q \cdot E = 0$ , а скорости в этот момент  $v_n(0) = v_{no}, v_p(0) = v_{po}$ , то уравнения (5) упрощаются:

$$m_n \frac{dv_n}{dt} = -k_n v_n, \quad m_p \frac{dv_p}{dt} = -k_p v_p. \quad (6)$$

Из уравнений (6) следует, что быстрота убывания скоростей  $v_{no}$  и  $v_{po}$  до нуля прямо пропорциональна отношению  $\frac{k}{m}$ . Отметим, что величина  $\frac{m}{k}$  имеет размерность времени. Введем обозначения

$$\tau_n = \frac{m_n}{k_n}, \quad \tau_p = \frac{m_p}{k_p}. \quad (7)$$

Тогда из уравнения (6) получим

$$\frac{dv_n}{dt} = -\frac{1}{\tau_n} v_n, \quad \frac{dv_p}{dt} = -\frac{1}{\tau_p} v_p. \quad (8)$$

Величины  $\tau_n$  и  $\tau_p$  определяют времена уменьшения скорости упорядоченного движения электронов и дырок до нуля. Чем больше  $\tau_n$  и  $\tau_p$ , тем медленнее происходит убывание скорости, следовательно, можно предположить, что  $\tau_n$  и  $\tau_p$  определяют времена релаксации упорядоченного движения электронов и дырок, соответственно. Решения уравнений (8) относительно скоростей имеют экспоненциальные виды:

$$v_n = v_{no} e^{-\frac{t}{\tau_n}}, \quad v_p = v_{po} e^{-\frac{t}{\tau_p}} \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что смысл величины времени  $\tau_n$  и  $\tau_p$  – это время, за которых скорости упорядоченного движения электронов и дырок уменьшаются в  $e$  раз, соответственно.

Поскольку мы определили времена  $\tau_n$  и  $\tau_p$ , теперь на их основе можем определить скорости  $v_n$  и  $v_p$ . При постоянном токе, когда  $v_n = \text{const}$  и

$v_p = \text{const}$ , т.е. когда  $\frac{dv_n}{dt} = 0$  и  $\frac{dv_p}{dt} = 0$  из уравнений (5) и (7) следует

$$v_n = \frac{q \cdot \tau_n}{m_n} E, \quad v_p = \frac{q \cdot \tau_p}{m_p} E. \quad (10)$$

Учитывая (10) и на основе уравнения (3) получим выражение для плотности тока в однородном полупроводнике, когда в нем отсутствуют внутренние барьеры

$$J = \left( \frac{q^2 n \cdot \tau_n}{m_n} + \frac{q^2 p \cdot \tau_p}{m_p} \right) \cdot E. \quad (11)$$

Когда  $n \approx p$  для нелегированного полупроводника, или полупроводника с малым количеством примесей выражение для плотности тока имеет следующий вид:

$$J = q^2 n \cdot \left( \frac{\tau_n}{m_n} + \frac{\tau_p}{m_p} \right) \cdot E. \quad (12)$$

Экспериментальная зависимость  $I = f(U)$  (рис. 2 и рис. 3) для исследованного фоторезистора имеет чисто линейный характер –  $I \sim U$ , т.е. выполняется закон Ома:

$$J = \sigma \cdot E, \quad (13)$$

где  $\sigma$  – удельная проводимость, которая в нашем случае имеет вид

$$\sigma = q^2 n \cdot \left( \frac{\tau_n}{m_n} + \frac{\tau_p}{m_p} \right). \quad (14)$$

Линейная зависимость  $I \sim U$  экспериментальных кривых (рис. 2 и рис. 3) подтверждает выполнение закона Ома и независимость удельной проводимости фоторезисторов от напряженности электрического поля в исследованном диапазоне напряжения.

Следовательно, концентрация и времена релаксации  $\tau_n$  и  $\tau_p$  также не зависят от напряженности электрического поля. Увеличения тока в  $\sim 2000$  раза при освещении (рис. 3), по-видимому, обусловлено увеличением концентрации носителей тока за счет фотогенерации электронно-дырочных пар. Поскольку интенсивность освещения была невысокая, то не проявляются нелинейные эффекты,  $\tau_n$  и  $\tau_p$ , а также  $m_n$  и  $m_p$  не зависят от интенсивности освещения. Тогда можно заключить, что рост удельной проводимости фоторезистора обусловлен только зависимостью концентрации носителей тока от интенсивности освещения.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

### Conclusion

После проведения эксперимента полезно обратить внимание учащихся на тот факт, что широкое применение фоторезисторов в автоматике объясняется именно высокой чувствительностью их электрического сопротивления к внешним воздействиям. Отсюда следует также, при резкое изменение электрического сопротивления при внешнем воздействии приводит к изменению силы тока в цепи, что позволяет использовать фоторезистор для автоматического контроля объекта при

включении или выключении различных устройств.

Таким образом, исследования вольт-амперных характеристик фоторезистора в темноте и при освещении его интегральным светом в области собственного поглощения поможет учащимся глубже понять сущность прохождения тока через структуру фоторезистора с омическими контактами и способствует формированию у них необходимых знаний и умений в изучении зависимости тока от напряжения в полупроводниковых структурах, в частности о свойствах фоторезисторов, которые подчиняются закону Ома.

### References:

1. (2005) Otrasevoj standart. Gosudarstvennaja sistema standartov nepreryvnogo obrazovaniya Uzbekistana. Tashkent -2005. p. 66-94.
2. Mjakishev GJ (2002) Fizika. Jelektrodinamika. 10-11kl.Uchebnik dlja uglublennogo izuchenija fiziki. Moskva: - Drofa 2002g. p.260-263, p. 327-329.
3. Zamjatin VJ, Kondrat'ev BV (1980) Tiristory. M.: Sov. radio, 1980. p. 64.
4. Gerlah V (1985) Tiristory [per. s nem]. M.: Jenergoatomiz dat, 1985. p. 328.
5. Mironov JM (1997) Teoreticheskaja jelektrotehnika jelektricheskij jelektrodnyh pechej. Cheboksary: Izd-vo Chuvash. un-ta, 1997. 232 p.
6. Mironov JM, Mihadarov DG (2008) Issledovanie harakteristik dugi postojannogo toka // Jelektro- mehanika, jelektrotehnologii, jelektrotehnicheskie materialy i komponenty: XII Mezhdunar. konf. Alush- ta, 29 sent.-4 okt., 2008 g. Alushta, 2008. p. 312.
7. Mironov JM, Mihadarov DG (2009) Issledovanie staticheskij i regulirovochnyj harakteristik dugi postojannogo toka // Trudy Akademii jelektrotehnicheskij nauk Chuvashskoj Respubliki. 2009. № 2. p. 41-43.
8. Sisojan GA (1974) Jelektricheskaja duga v jelektricheskij pechi. 3-e izd. M.: Metallurgija, 1974. 304 p.
9. Semjonov AA, Usanov DA (2009) Aktivnyj dvuhpoljuskij s S i N obraznoj vol't ampernoj harakteristikoj // Izv. vuzov. Jelektronika. 2009. № 2. p. 17-21.
10. Chua L, Yu Juebang, Yu Youying (1985) Bipolar JFET MOSFET negative resistance devices // IEEE Transactions on Circuits and Systems. 1985. Vol. 32. p. 46-61.
11. Tejlor P (1990) Raschet i proektirovanie tiristorov / per. s angl. M.: Jenergoatomizdat, 1990. p. 208.

