

PHYSICS AND MATHEMATICS

ЗАВИСИМОСТЬ СТРУКТУРЫ ЗОН ПОЛУПРОВОДНИКОВ ОТ СКОРОСТИ РЕКОМБИНАЦИИ МЕЖДУ ЗОНАМИ

М. Н. Аликулов

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики, Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31052020/7073

ARTICLE INFO

Received: 19 March 2020

Accepted: 11 May 2020

Published: 31 May 2020

KEYWORDS

silicon, solar cell, recombination, semiconductor, photosensitivity, solar battery.

ABSTRACT

This article researches the dependence of recombination processes that occur in semiconductors on the structure of semiconductor zones. The advantages of using faulty zonal semiconductors in the development of solar cells have been substantiated.

Citation: M. N. Alikulov. (2020) The Dependence of the Inter-Zone Recombination Rate on the Semiconductor Zone Structure. *World Science*. 5(57), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal_ws/31052020/7073

Copyright: © 2020 M. N. Alikulov. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Потребность в электроэнергии ежегодно повышается на 5 процентов в связи с ростом населения и развитием экономики Узбекистана. К 2030 году в нашей стране потребуется довести производственную мощность электроэнергии до 25000 мегаватт или годовой объем производства электроэнергии до 120 миллиардов часов.

Для удовлетворения потребностей в электроэнергии важное значение имеет поиск и эффективное использование альтернативных источников энергии. Из альтернативных источников энергии можно выделить солнечную энергию, энергию ветра, морской воды и биогаза.

Особое место среди них занимает солнечная энергия. Во-первых, солнечная энергия, которая преобразует солнечную энергию в электрическую, отличается от других альтернативных источников энергии простотой своей структуры, безопасностью, экологической чистотой и возможностью его использования в долгосрочной перспективе.

Во-вторых, специалисты утверждают, что земная поверхность ежедневно получает от солнца количество энергии, равное 174 петаваттам. Наша страна, где в году 300 солнечных дней, очень удобна для применения технологий получения электрической энергии от солнечных лучей.

К 2030 году в нашей республике планируется запустить солнечные и ветровые электростанции мощностью 3500 тысяч мегаватт. В ближайшие 10 лет в Узбекистане будет запущено 25 солнечных электростанций.

В настоящее время электроэнергия, производимая солнечными батареями, во много раз дороже электроэнергии, производимой на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях. Поэтому перед учеными и инженерами, производящими солнечные элементы, стоит проблема совершенствования солнечных элементов и снижения себестоимости электроэнергии.

Основная стоимость электроэнергии, получаемой от солнечных элементов, зависит от дороговизны полупроводниковых материалов, работающих на солнечных батареях. Основным полупроводниковым материалом, работающим на солнечной энергии, остается кремний.

Все усилия, прилагаемые современными учеными, направлены на получение недорогого кремния, который не очень подходит для солнечных батарей. Это, в основном, поликристаллы и аморфный кремний, достаточно тонкие пленки, насыщенные водородом и опылённые до проницаемой основы. Еще один способ удешевления солнечных элементов — это упрощение технологии. Особенно дорого обходится отказ от высокотемпературной диффузионной операции. При этом мы также избавляемся от сокращения времени жизни носителей заряда. В этом случае диффузионная длина носителей заряда уменьшается.

Наконец, еще одним способом снижения себестоимости основных элементов солнечных батарей может стать использование новых рабочих принципов. Или же можно использовать концентраторы солнечной энергии с целью выбора более дорогого полупроводникового материала. Был проведен ряд научно-исследовательских работ по удешевлению солнечных батарей и повышению их коэффициента полезного действия за счет отказа от высокотемпературных диффузионных процессов, в которых технологические процессы являются дорогостоящими, а также увеличения времени жизни носителей заряда. В работах авторов [1-5], [6-12] изучено, что чувствительность полупроводниковых солнечных элементов к свету зависит от скорости рекомбинации, которая происходит в полупроводниках, и времени жизни носителей заряда.

В данной статье исследуется связь скорости рекомбинации в полупроводниках со структурой зон полупроводников.

Как известно, по структуре зон полупроводников выделяются 2 типа:

1. Полупроводники с прямой зоной,
2. Полупроводники с непрямой зоной.

Если нижняя часть зоны проводимости (E_c) и верхняя часть валентной зоны (E_v) соответствует друг другу, то такие полупроводники называются полупроводниками с прямыми зонами.

Вначале рассмотрим процессы рекомбинации для полупроводников с прямыми зонами (Рис.1).

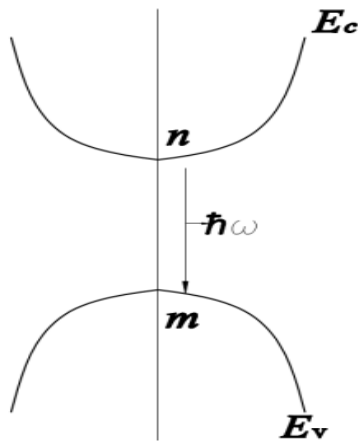


Рис. 1. Процесс рекомбинации в полупроводниках с прямой зоной

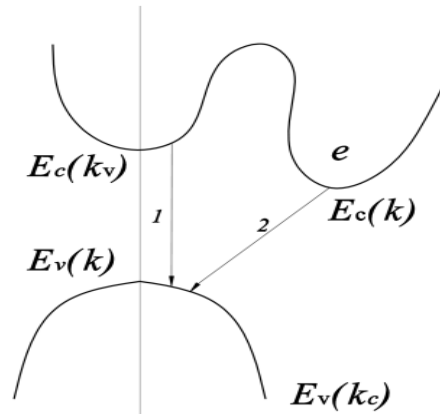


Рис. 2. Процесс рекомбинации в полупроводниках с непрямой зоной через прямое оптическое проникновение

Закон сохранения для рекомбинационных процессов выражается следующим образом:

$$E_v = E_c - \hbar\omega \text{ — закон сохранения энергии}$$

$$\vec{k}_v = \vec{k}_c - \vec{g} \text{ — закон сохранения импульса}$$

здесь, $k = \frac{\pi}{a} = 10^8 \text{ см}^{-1}$ — волновой вектор электрона, $g = \frac{2\pi}{\lambda} = 10^4 \div 10^5 \text{ см}^{-1}$ — волновой вектор фотона. Вероятность перехода из зоны электронной проводимостью в валентную зону ($n \rightarrow m$)

$$W = W_{nm}[1 - f(E_v(\vec{k}))]$$

Вероятность существования в валентной зоне дырки k , равное волновому вектору $f[E_V(\vec{k})]$, вычисляется по следующей формуле

$$W = \frac{4}{3} \frac{e^2 \omega}{4\pi \epsilon_0 \hbar c} \frac{|\langle k_c | P | k_V \rangle|^2}{(mc)^2} [1 - f_p(E(k))]$$

Здесь ω – циклическая частота световой волны, m – масса электрона, P – элемент матрицы при переходе электрона из состояния k_c в состояние k_V .

$$W = \gamma_r \cdot P, \quad \frac{P}{N_V} = 1 - f(E_V(k))$$

$$\gamma_r = \frac{4}{3} \frac{e^2 \omega}{4\pi \epsilon_0 \hbar^2} \frac{|\langle k_c | P | k_V \rangle|^2}{(\omega c^2) N_c} - \text{коэффициент рекомбинации.}$$

Оценим эти выражения при значениях $|\langle k_c | P | k_V \rangle|^2 \approx mv$, $T = 300^\circ\text{C}$, $N_V = 10^{19} \text{см}^{-3}$, $\omega = 2 \cdot 10^5 \text{см}^{-1}$, $\gamma_r = 2 \cdot 10^{-13} \text{см}^3/\text{с}$, $n = 10^{16} \text{см}^{-3}$, когда времени жизни носителей заряда будет равна $\tau = \frac{1}{\gamma_r \cdot n} = 5 \cdot 10^{-4} \text{сек}$. Если $n = 10^{19} \text{см}^{-3}$, то $\tau = 0,5 \text{ нс}$.

Теперь ознакомимся с процессами рекомбинации, возникающими в полупроводниках с непрямой зоной.

При переходе электрона из состояния $E_c(k)$ в состояние $E_V(k_c)$ [$E_c(k) \rightarrow E_V(k_c)$] а так же из $E_c(k_V)$ в состояние $E_V(k)$ [$E_c(k_V) \rightarrow E_V(k)$] вероятность прямого оптического проникновения будет малым (рис.2).

Вероятность перехода путём прямого оптического проникновения электрона из зоны проводимости в валентную зону будет выглядеть следующим образом

$$W = \frac{n \cdot p}{N_V \cdot N_c} e^{-\frac{E_c(k_V) - E_c}{kT}} \cdot e^{-\frac{E_V - E_V(k_c)}{kT}}$$

При оценивании вышеуказанной вероятности у полупроводников с непрямой зоной используются значения $E_c(k_V) - E_c \approx 0,5 \text{ эВ}$, $T = 300 \text{ К}$, вероятность прямого перехода электронов относительно полупроводников с прямой зоной будет $\approx 2 \cdot 10^9$ раза меньше.

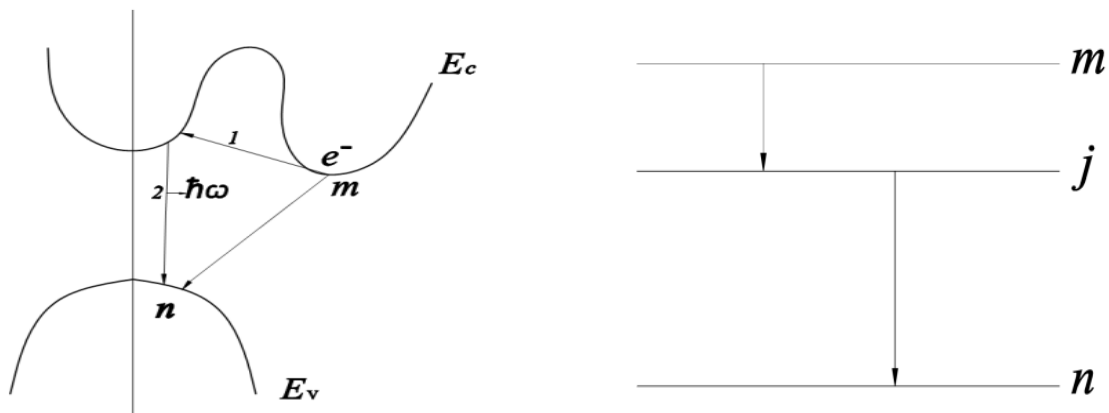


Рис. 3. Процесс рекомбинации у полупроводников с непрямой зоной через промежуточные состояния

Процесс рекомбинации в полупроводниках с непрямой зоной осуществляется и посредством промежуточных состояний (Рис. 3). Через промежуточное состояние электрон переходит из зоны проводимости в валентную зону. Согласно закону сохранения, для осуществления процесса рекомбинации электрон поглощает или выделяет фотон. Следовательно, законы сохранения будут следующими:

$$\vec{k}_n = \vec{k}_m + \vec{g} \pm \vec{k}_{\text{фонон}} - \text{закон сохранения импульса}$$

$$E_n = E_m - \hbar\omega \pm E_{\text{фонон}} - \text{закон сохранения энергии}$$

Вероятность перехода электрона из состояния m в состояние n выражается следующим образом:

$$W_{mn} = \sum_{j \neq m} \frac{\langle m | H | j \rangle \langle j | H | n \rangle}{E_m - E_j}$$

Вероятность у полупроводников с непрямой зоной ниже, чем у полупроводников с прямой зоной. Скорость рекомбинации у полупроводников с непрямой зоной также ниже, чем у полупроводников с прямой зоной. Следовательно, время жизни носителей заряда у полупроводников с непрямой зоной больше по сравнению с временем жизни зарядов у полупроводников с прямой зоной.

Таким образом, для создания солнечных батарей с высокой чувствительностью к освещённости на основе полупроводниковых материалов целесообразным является использование полупроводников с непрямой зоной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики: Пер. с англ./ Под ред. Т. Коутса, Дж. Микина. – М.: Мир, 1988.
2. *Ольховский Г.Г.* Глобальные проблемы энергетики// Электрические станции. – М.: 2005. №1. с.4 – 10.
3. *Гуламова М.А., Потаенко К.Д., Турсунов М.Н.,* и др. Солнечные элементы из отходов монокремния серийного производства. //Гелиотехника, 1990, №4.
4. *Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченков А.А.* Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-е изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.
5. *Кашикарров А.П.* Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции-М.: ДМК Пресс, 2011.
6. Аликулов М.Н., Саъдуллаев А. Рекомбинация ҳодисасини ярим ўтказгичли материалларнинг фотосезгирлигига таъсири. //Олий ва ўрта махсус, касб хунар таълимида аниқ ва табиий фанларнинг ўзаро алоқадорлик ва узвийлиги масалалари мавзусидаги Республика илмий-назарий анжумани материаллари. – Қарши, 2014 йил, – Б.444-445.
7. Аликулов М.Н., Саъдуллаев А. Ярим ўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар. //Қишлоқ хўжалиги ва транспортда ресурстежамкор техника, технологияларни яратиш, самарали фойдаланиш ва сервис муаммолари мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани. -Қарши, 2015 йил, -Б.214-216.
8. Аликулов М.Н. Ярим ўтказгичли фотоэлементларнинг фотосезгирлигини маҳаллий марказлар орқали бўладиган рекомбинацияга боғлиқлиги. //Иқтисодийни модернизация қилиш ва технологик янгилаш шароитида фан-таълим-ишлаб чиқариш интеграциясини ривожлантириш муаммолари ва ечимлари мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари. -Қарши, 2015 йил, -Б.27-29.
9. Аликулов М.Н. Фотоэлементлар фотосезгирлигига қиринди марказлари ва рекомбинация жараёнларининг таъсири //“Инновацион технологиялар” журнали. –Қарши, 2016 йил, №3, -Б. 21-26.
10. Аликулов М.Н. Фотоэлементларда юз берадиган фотоэлектрик ҳодисалар. //Кончилик ва нефть-газ тармоқларининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари. –Қарши, 2016 йил, -Б.340-341.
11. Аликулов М.Н. Фотоэлементларда юз берадиган рекомбинация жараёнлари. //Ишлаб чиқариш корхоналарининг энергия тежамкорлик ва энергия самарадорлик муаммоларини ечишда инновацион технологияларнинг аҳамияти мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани. – Қарши, 2016 йил, -Б. 201-203.
12. Аликулов М.Н. Влияние примесных центров и процессов рекомбинации на фоточувствительность фотоэлементов//Сибирский физический журнал. 2018 г. Том 13. №2. -С. 80-86.