

что его можно использовать не только как спектрально-оптоэлектронная память, но и можно суммировать запоминавшие сигналы. С другой стороны р - CdTe обладает высокой фоточувствительностью и эта возможность дает регистрировать и запоминать спектр сигналов без приложения внешнего напряжения, которые лежат в широких пределах длинноволнового светового излучения (0,5 - 2,7 мкм).

Литература

1. Шейнкман М.К., Шик А.Я.//ФТП, – 1976. – № 10. – С. 209.
2. Отажонов С.М., Алимов Н.Э., Акбаров К., Абдуллаев К., Дадажонова Х., Отажонова Д., Рахмонкулов М. Оптическая спектральная память в пленочной гетероструктуре р-CdTe-SiO₂-Si// Физическая Инженерия Поверхности. 2009 том 7. №1-2. С. 96-98
3. Отажонов С.М., Алимов Н.Э., Ботиров К.А. Оптическая спектральная память в пленочной ультракристаллической гетероструктуре р-CdTe-SiO₂-Si//Научно-Технический журнал ФерПИ. 2018. Том 22. №2. С.113-116

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТРУКТУРЫ $por - Si/n^+ - c - Si$

ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ

ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ $c - Si$

У.С.Бабаходжаев, М.А.Усманов, И.Ш.Вохобжонов

Наманганский государственный университет, Физический факультет

email: ismoilvokhobjonov@gmail.com тел:

+998 99 497 17 18

Аннотация. В данной работе исследованы характеристики структуры $por - Si/n^+ - c - Si$, теоретически исследованы температурная зависимость дифференциальной емкости и поверхностной проводимости тонкого слоя $por - Si$, полученного выращиванием тонкого слоя $por - Si$ на поверхности многослойных фотопреобразователей с-Si, предполагая, что $por - Si$ проявляет свойства диэлектрика, теоретически исследованы и сделаны необходимые выводы.

Ключевые слова. *por – Si*, Вольт-Фарадная характеристика (ВФХ), поверхностный потенциал, поверхностная проводимость, контактный слой.

Введение. Усовершенствование технологий получения высокоэффективных солнечных элементов только на основе кристаллического кремния почти достигла своего предела. Поэтому в последнее время ведутся исследования для создания многослойных солнечных элементов на основе *c – Si*, то есть выращиваются на поверхности *c – Si* разные слои из разных полупроводников, в том числе пористого кремния *por – Si* [1,2]. Выращенный слой *por – Si* в основном решит две проблемы для повышения эффективности солнечных элементов.

- за счет шероховатости поверхности *por – Si* уменьшается коэффициент поверхностного отражения и увеличивается удельная площадь поверхности солнечного элемента.

-в зависимости от размеров кристаллита уменьшается время жизни носителей тока выращенных слоев и образуется потенциальный барьер между слоями *por – Si* и *n⁻ – c – Si* и за счет этого величина рекомбинационного тока становится незначительной.

Поэтому в настоящее время исследования свойств *por – Si/n⁺ – c – Si* структур являются актуальными.

Цель настоящей работы является исследование температурной зависимости некоторых параметров *por-Si/n⁺-c-Si* структур выращенных на поверхности солнечных элементов на основе *c-Si*

В работе [3] были экспериментально исследованы ВФХ *por – Si/n⁺ – c – Si/p – c – Si* структур и предположено что график ВФХ похож на график ВФХ МДП структур, но не обосновано. В работе [4] авторы обосновали, что в зависимости от размера кристаллитов *por-Si* подвижность и время жизни носителей тока резко уменьшается с образованием низкоразмерных кристаллитов и за счет этого *por-Si* начинает проявлять свойство диэлектрика.

Если учесть диэлектрическое это свойство *por-Si* тогда для общей емкости *por-Si/n⁻-c-Si/p-c-Si* мы получим следующие соотношения из общей емкости трехслойных структур.

$$\frac{1}{C_a} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad C_1 \ll C_2 \Rightarrow C_0 \approx C_1$$

C_1 - емкость области *por-Si/n⁺-c-Si*, C_2 - емкость области *n⁺-c-Si/p-c-Si*. Для нахождения емкости C_1 будем решать совместно уравнение Пуассона и непрерывности.

$$\operatorname{div} E = -\frac{1}{\varepsilon \varepsilon_0} \rho(x) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} j = 0 \quad (3)$$

Из-за проявления диэлектрического свойства *por-Si*, можно предполагать, что $j \approx 0$ тогда из уравнения (3), мы имеем $\rho(x) = \text{const}$, где $\rho(x)$ - плотность заряда в области пространственного заряда (ОПЗ).

В работе [5] для $\rho(x)$ предложено следующее выражение

$$\rho(x) = e[\rho(x) + N_D^+ - n(x) - N_A^-] \quad \text{или} \\ \rho(x) = e[\rho_0 \left(\exp\left(-\frac{e\varphi_s}{kT}\right) - 1 \right) - n_0 \left(\exp\left(\frac{e\varphi_s}{kT}\right) - 1 \right)] \quad (4)$$

Если учесть это выражение, тогда с помощью уравнения Пуассона мы получим выражения для емкости области *por-Si/n⁺-c-Si* в следующем виде.

$$C_{sc} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{2L_D} \left[\frac{\lambda \left(\exp\left(-\frac{e\varphi_s}{kT}\right) - 1 \right) - \lambda^{-1} \left(\exp\left(\frac{e\varphi_s}{kT}\right) - 1 \right)}{F(\varphi_s, \lambda)} \right] \quad (5)$$

Где $L_D = \sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_0 kT}{2e^2 n_i}}$; $\varphi_s = \Delta\varphi_k - U$; $\lambda = \frac{p_0}{n_i} = \frac{p_i}{n_0}$;

$F(\varphi_s, \lambda) = \pm \left[\lambda^{-1} \left(\exp\left(\frac{e\varphi_s}{kT}\right) - 1 \right) + \lambda \left(\exp\left(-\frac{e\varphi_s}{kT}\right) - 1 \right) + (\lambda - \lambda^{-1}) \frac{e\varphi_s}{kT} \right]^{\frac{1}{2}}$ U - внешнее напряжение приложенное к структуре, $\Delta\varphi_k$ - высота потенциального барьера между слоями *por-Si* и *n⁺-c-Si*.

Величина поверхностного потенциала в основном зависит от свойств слоя *por-Si*, потому что за счет выращивания на поверхности *c-Si* возникла

потенциальный барьер, контактная область между слоями $por - Si$ и $n^+ - c - Si$ является обедненной электронами, поэтому основная часть приложенного внешнего напряжения падает на эту область.

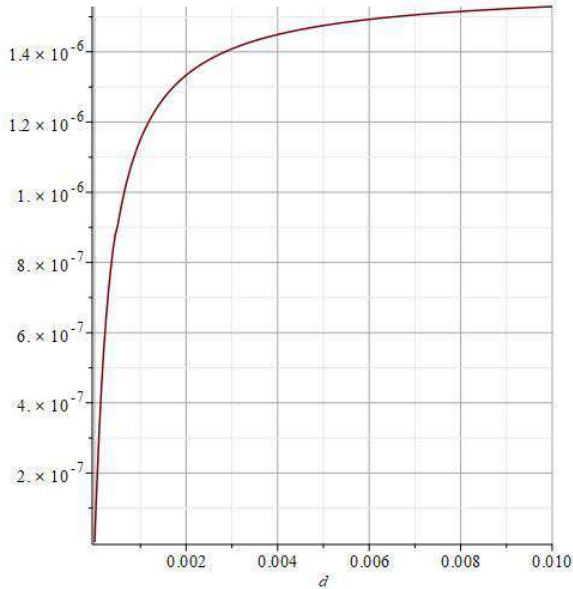


Рисунок 1

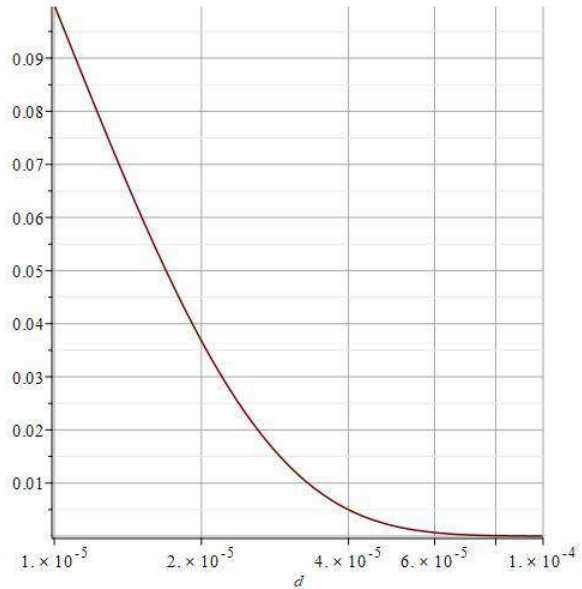


Рисунок 2

На рис. 1 приведен график, который отражает зависимость дифференциальной емкости от поверхностного потенциала при разных температурах. Из графиков видно, что с ростом температуры значение дифференциальной емкости также растет, это означает, что концентрация свободных носителей тоже растет. При высоких напряжениях почти все свободные носители накапливаются приповерхности слоя контактной области $por - Si/n^- - c - Si$ и за счет этого должна расти поверхностная проводимость. Поверхностную проводимость можно определить с помощью следующего выражения [6]

$$G_s = -en_i \mu_{ps} L_D \int_0^{\varphi_s} \frac{\lambda \left(\exp\left(\frac{-e\varphi_s}{KT}\right) - 1 \right) + b\lambda^{-1} \left(\exp\left(\frac{e\varphi_s}{KT}\right) - 1 \right)}{F(\varphi_s, \lambda)} d\varphi_s \quad (7)$$

Где $b = \frac{\mu_{ns}}{\mu_{ps}}$, μ_{ns} и μ_{ps} - поверхностная подвижность электронов и Дирак

соответственно, $L_D = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0 KT}{2e^2 n_i}}$ - Дебаевская длина экранирования.

На рис. 2 представлен график зависимости поверхностной проводимости от поверхностного потенциала при разных температурах. Эти графики

подтверждает наши предположения, что с ростом температуры происходит увеличение концентрации носителей накапливаемых в приповерхностном слое $n^+ - Si$ и это приводит к росту поверхностной проводимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом свойства трехслойной $por - Si/n^+ - c - Si/p - c - Si$ структуры зависят от электрофизических параметров контактного $por - Si/n^+ - c - Si$ слоя в ВФХ.

При повышении температуры свободные носители накапливаются при поверхности контактного $por - Si/n^+ - c - Si$ слоя и сильно влияют на емкость и поверхностную подвижность приповерхностного слоя, поэтому будет полезно использовать это изменение при расчете эффективности фотопреобразователей.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Трегулов, В.А. Степанов, В.Г. Литвинов, А.В. Ермачихин. Особенности механизмов токопрохождения в полупроводниковой структуре фотоэлектрического преобразователя с n^+ –р-переходом и антиотражающей пленкой пористого кремния. Журнал технической физики, 2016, том 86, вып.11
2. У.С. Бобохожаев, М.А. Усманов. Особенности структур $p - por - Si/p - c - Si$ и механизм токопереноса. Uzbek Journal of Physics. Vol. 25, No. 3, pp. 15-20, 2023 DOI: <https://doi.org/10.52304/v25i3.448>.
3. Трегулов В.В. Особенности высокочастотной вольт-фарадной характеристики фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии на основе кремниевого р-п-перехода с антиотражающим слоем пористого кремния, Журнал технической физика, 2014, том 84, вып.9
4. U.S. Babaxodjayev, M.A. Usmanov, I.Sh. Voxobjonov. Kristallit o'Ichamini $por - Si$ ni taqiq sohasi kengligiga va tok tashuvchilar harakatiga ta'siri. Tabiiy fanlar va ekologiyaga oid ayrim muammolar (ilmiy maqolalar to'plami).
5. К.Зеегер. Физика полупроводников. Издательство МИР Москва 1977.
6. Моделирование поверхностных свойств полупроводников. Учебно-методические материалы. Воронеж 2002

YARIMO'TKAZGICHLAR VA METALLARNING SIRTIDA

KUZATILADIGAN XODISALAR VA ULARNI NAZARIY TAHLILLARI

Xoldorov Muxammadkarim FarDU tayanch doktoranti

Mamirjonova Gulnoza Farg'ona davlat universiteti magistri