

# DETERMINATION OF AMORPHOUS SILICON ABSORPTION SPECTRUM

Sologub O.Yu.

*Kharkiv National University of Radio Electronics  
14, Lenin Ave., Kharkov, 61009, Ukraine  
Ph.: (+38057) 7021362, e-mail: sol\_ok@mail.ru*

*Abstract* — An empirical model of the spectral dependence of amorphous silicon absorption coefficient is presented. The effect of the amorphous structure degree of disorder on the absorption coefficient value is demonstrated. The results can be applied for modeling of devices based on a-Si:H.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ

Сологуб О. Ю.

*Харьковский национальный университет радиозлектроники  
пр. Ленина, 14, Харьков, 61009, Украина  
тел.: (+38057) 7021362, e-mail: sol\_ok@mail.ru*

*Аннотация* — Приведена эмпирическая модель спектральной зависимости коэффициента поглощения аморфного кремния. Показано влияние степени разупорядоченности аморфной структуры на величину коэффициента поглощения. Результаты могут быть применены при моделировании работы приборов на основе a-Si:H.

### I. Введение

Интерес к полупроводниковому кремнию вызван не только совершенствованием технологий электронного приборостроения но, также, остро стоящей проблемой энергосбережения, поскольку запасы нефти, газа, угля и урана на планете, на которых базируется современная энергетика, в скором времени будут исчерпаны. По данным статистики, ежегодный прирост потребления энергии составляет (2,5...3,5)%. Если такая тенденция сохранится, каждые (25...30) лет энергопотребление будет удваиваться. Атомная энергетика в качестве альтернативного источника энергии также не решит глобальных задач энергообеспечения по причинам сложности гарантирования безаварийной работы атомных электростанций, обеспечения экологической безопасности, а также проблем захоронения ядерных отходов. Среди альтернативных возобновляемых источников энергии (ветровая, приливная, волновая, геотермальная, гидроэнергия, биотопливо, энергия биомассы) солнечная фотоэнергетика обладает наибольшим потенциалом долгосрочного роста. Солнечного света, падающего на Землю каждую минуту, достаточно для удовлетворения годовой потребности человечества в энергии. Около 90% выбросов, связанных с производством энергии, можно предотвратить, заменив традиционные источники энергии фотоэлектрическими. Согласно прогнозу Мирового энергетического агентства (IEA), в 2004–2030 гг. производство электроэнергии за счет возобновляемых источников возрастет почти в три раза, в том числе солнечной энергии — в 60 раз [1, 2].

Для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую используют полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) и, прежде всего, ФЭП на основе кремния. Это обусловлено их большим КПД, простотой конструкции, достаточностью запасов кремния в земной коре, а также отлаженностью технологий его производства. Для достижения рентабельности наземной солнечной энергетики необходимо снижение стоимости вырабаты-

ваемой электроэнергии и доведения срока службы солнечных модулей до (20...30) лет [2].

Стоимость и КПД ФЭП в значительной мере определяются свойствами полупроводникового материала и технологией его изготовления. За полвека развития технологии солнечных ФЭП были исследованы десятки различных полупроводниковых материалов. Эти исследования и результаты опытной эксплуатации показали, что основным кандидатом на широкое масштабное применение в гелиоэнергетике является кремний. В настоящее время около 90 % производимых в мире солнечных элементов изготавливается из монокристаллического, поликристаллического и аморфного кремния.

В то же время эффективность преобразования солнечного излучения существенно выше у кристаллического кремния. Самый высокий КПД единичного серийного ФЭП ((17...20,5)%) достигнут с использованием монокристаллического кремния, полученного по методу Чохральского. Из мультикристаллического кремния, перекристаллизованного из рафинированного металлургического кремния, величина КПД составляет (12...14)%, из поликристаллического кремния — (14...15,5)%, из аморфного кремния — (5...10)% [3, 4]. Расход кремния на 1,0 Вт произведенной электрической мощности для ФЭП из монокристаллического кремния составляет менее 5 г/Вт, из поликристаллического кремния — 13,7, из аморфного кремния — 0,3 г/Вт [3, 4].

Поэтому чрезвычайно актуальным является освоение технологий дешевого кремния с высокими эксплуатационными свойствами. Эффективность работы ФЭП зависит от его конструкции, а также оптических и электрофизических свойств используемого кремния: ширины запрещенной зоны, величины времени жизни неравновесных носителей заряда, степени легирования, коэффициента отражения света от поверхности пластины, выпрямляющих характеристик р-п-перехода, спектрального положения основной полосы поглощения солнечного излучения и др.

## II. Основная часть

В настоящее время аморфный гидрогенизированный кремний (a-Si:H) и сплавы на его основе находят широкое применение в технологии твердотельной электроники. Связано это, прежде всего, с уникальной совокупностью свойств этих материалов, изменяемых в широких пределах за счет варьирования технологических режимов осаждения, и возможности осаждения a-Si:H и его сплавов практически на любую поверхность. Однако a-Si:H и его сплавы наряду с преимуществами обладают недостатками тесно связанными с энергетической структурой аморфного материала. Прежде всего, это низкая подвижность носителей заряда, высокая плотность дефектов в щели подвижности и метастабильность оптических и электрофизических свойств.

Для изготовления оптоэлектронных приборов на основе аморфных полупроводников необходимо обеспечить формирование слоев «приборного качества» с высокой фоточувствительностью и плотностью дефектов в щели подвижности материала, не превышающей  $10^{18} \text{см}^{-3}$ . Однако, получение слоев «приборного качества» и оптимизация технологии осаждения тонких пленок невозможны без разработки надежных методов моделирования фотопроводимости, позволяющих определять спектр плотности состояний в щели подвижности аморфных полупроводников и коэффициента поглощения.

В работе [5] приведена модель спектральной зависимости функции распределения плотности состояний для аморфного кремния с учетом степени разупорядоченности его структуры. Мерой разупорядоченности структуры являются параметры ширина хвостов зоны проводимости  $\gamma_c$  и ширина хвостов валентной зоны  $\gamma_v$ .

В общем виде взаимосвязь плотности состояний и коэффициента поглощения  $\alpha$  определяется соотношением

$$\alpha(h\nu) = \frac{2\pi h}{cc} \cdot \left(\frac{e}{m}\right)^2 \frac{1}{h\nu} \int N(E)f(E) \cdot N(E+h\nu)(1-f(E_{h\nu}))P(E, E+h\nu)dE$$

где  $h\nu$  — энергия фотона;  $n$  — показатель преломления;  $N(E)$  — плотность состояний;  $f(E)$  — функция распределения Ферми-Дирака;  $P(E, E+h\nu)$  — матричный элемент оптического перехода.

Таким образом, вклад состояний с энергиями  $E$  и  $E+h\nu$  в коэффициент поглощения определяется концентрациями заполненных исходных состояний с энергией  $E - N(E)f(E)$ , пустых конечных состояний с энергией  $E+h\nu - N(E+h\nu)(1-f(E_{h\nu}))$  и величиной матричного элемента  $P(E, E+h\nu)$  перехода из исходного в конечное состояние.

Также для определения спектральной зависимости коэффициента поглощения предполагалось:

— независимость матричного элемента от энергии, то есть его значение одинаково для всех воз-

можных переходов во всем рассматриваемом спектральном диапазоне;

— показатель преломления не зависит от энергии фотона;

—  $f(E) = 1$  и  $f(E+h\nu) = 0$ , то есть все исходные состояния заполнены электронами, а все конечные — пусты.

На рисунке 1 приведены результаты расчета спектральной зависимости коэффициента поглощения для различных степеней разупорядоченности структуры a-Si:H и значения таусовской ширины запрещенной зоны 1,85 эВ. Как следует из анализа зависимостей степень разупорядоченности значительно влияет на коэффициент поглощения a-Si:H.

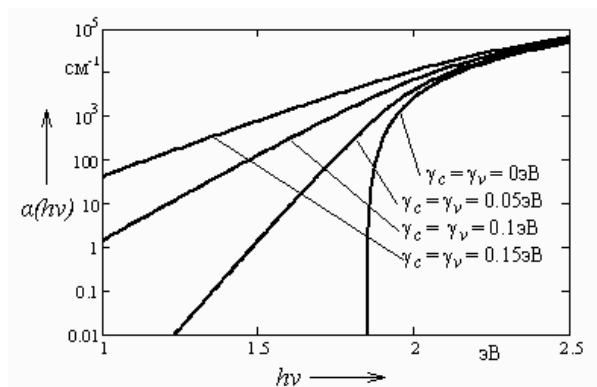


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента поглощения для случая  $\gamma_c = \gamma_v$  и  $E_{g0} = 1.85 \text{эВ}$ .

Fig. 1. Spectral dependences of absorption coefficient for the case  $\gamma_c = \gamma_v$  and  $E_{g0} = 1.85 \text{eV}$

## III. Заключение

1. В работе описана эмпирическая модель спектральной зависимости коэффициента поглощения для аморфного кремния с учетом степени разупорядоченности его структуры.

2. Данная модель может быть применена для оптимизации технологии получения a-Si:H «приборного качества» и моделирования работы приборов на его основе.

## IV. References

- [1] Nepomnyashchikh A.I., Eremin V.P., Krasin B.A. i dr. Mul'tikristallicheskii kremnii dlya solnechnoi energetiki [Multicrystalline silicon for sun energetics]. *Izvestiya Vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki*, 2002, No 4, pp.16-24.
- [2] Alferov Zh.I., Andreev V.M., Rumyantsev V.D. *Tendentsii i perspektivy razvitiya solnechnoi fotoenergetiki*. Fizika i tekhnika poluprovodnikov, 2004, vol. 38, issue 8, pp. 937-948. Available at: <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/ftp/2004/08/p937-948.pdf> (accessed 20 July 2013).
- [3] Fonash S.J. *Solar Cell Device Physics. Second Edition*. Elsevier Inc., 2010. 367 p.
- [4] Markvart T., Castaner L. *Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation*. Elsevier, 2005. 555 p.
- [5] Pashchenko O.G., Sologub O.Yu. Defending the functions of electronic density of states in amorphous silicon. *Radiotekhnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag*, 2012, No 169, pp. 337-342.