

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ИОНИЗАЦИИ ПРИМЕСЕЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРЕМНИИ И АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

М.С. Саидов

ФТИ НПО «Физика-Солнце» АН Руз, г. Ташкент

Одной из долгосрочных задач полупроводниковой фотовольтаики является поиск возможностей дальнейшего повышения эффективности солнечных элементов (СЭ). Концепция третьего поколения СЭ предусматривает использование примесного фотовольтаического (ПФВ) эффекта, обуславливающего повышение фототока за счет поглощения субзонных фотонов [1, 2]. По результатам расчетов [3] ПФВ эффект повышает предельный КПД СЭ до 62,3%. Успех экспериментальных исследований ПФВ эффекта зависит от правильной оценки энергетического уровня примесей в запрещенной зоне базового полупроводника СЭ. В связи с этим в работе [4] была выдвинута и обоснована концептуальная идея о целесообразности использования электронейтральных (изовалентных) примесей для реализации ПФВ эффекта. Наш подход к выбору примесей связан с условиями образования непрерывных твердых растворов (НТР) замещения, основанными на молекулярно-статистических и кристаллохимических представлениях. Эти условия [5] для НТР замещения двойных соединений типа $(AB)_x(CD)_{1-x}$, $(A_2)_x(CD)_{1-x}$ имеют следующий вид

$$\Delta z = (z_A + z_B) - (z_C + z_D) = 0 \quad (1) \quad |\Delta r| = |(r_A + r_B) - (r_C + r_D)| \leq 0,1(r_A + r_B), \quad (2)$$

где z_A, z_B, z_C, z_D и r_A, r_B, r_C, r_D – валентности и ковалентные радиусы химических элементов А,В,С D, образующих молекулы компонентов НТР замещения АВ (АА) и CD соответственно.

Примесные соединения i должны удовлетворять условию электронейтральности (1) и близость геометрических параметров (2), исключающих возникновение значительных искажений кристаллической решетки, ускоряющих рекомбинацию фотоносителей. Ранее, для ориентировочной оценки энергетического уровня примеси E_i мы предложили использовать его ширину запрещенной зоны $E_{g,i}$, отсчитанную вниз от дна зоны проводимости $E_{g,c}$ базового полупроводника с запрещенной зоной $E_g > E_{g,i}$ [6].

В целях учета влияния атомов основного полупроводника, окружающих молекулы примеси A_2 или CD на прочность ковалентной связи А-А или С-Д приводим на рис. 1 известные данные о спектре фотолюминесценции (ФЛ) арсенида галлия, легированного кремнием и германием [7-9]. Как видно из рис.1 значения энергий, соответствующих

максимуму кремниевого и германиевого полос спектра ФЛ GaAs, легированного Si и Ge(Ge₂) на (0,2÷0,3) эВ больше, чем E_gSi и E_gGe. Можно предполагать, что длинноволновые полосы кривых (1)[7] и (2)[8] рис.1 обусловлены растворением в GaAs молекулярного кремния и германия Si₂ и Ge₂ соответственно. Поэтому целесообразно оценить положение E_i (энергию ионизации примеси) на (1,2÷1,3) E_gi эВ ниже дна зоны проводимости основного полупроводника.

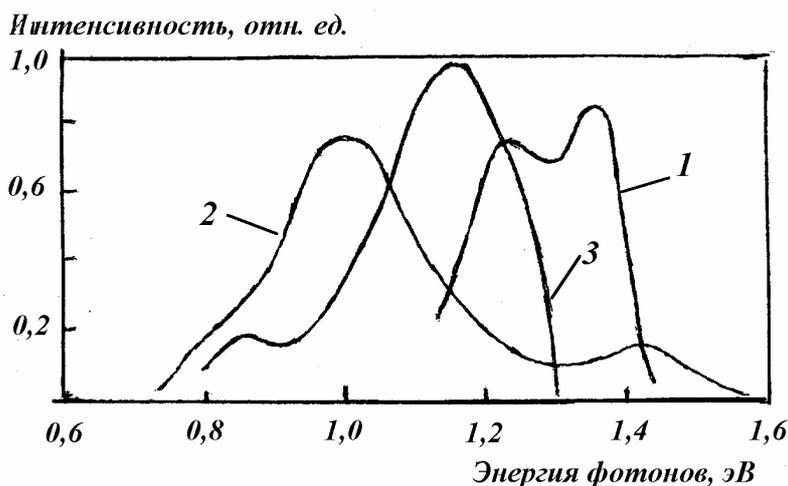


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции при 77 (1, 3) и 295 К (2) кристаллов GaAs, легированных Si (Si₂) (1) [7], Ge(Ge₂) (2)[8] и Ge₂ (3)[9].

В таблице представлены приближенные значения энергетических уровней (энергий ионизации) примесей для исследования ПФВ эффекта в аморфном, кристаллическом Si (a-Si, c-Si) и в кристаллическом GaAs, а также формулы твердых растворов Si и GaAs.

В настоящее время целесообразно проводить экспериментальные исследования фотовольтаического эффекта примесей InAs в a-Si, GeSn в c-Si, и InAs и GaSb в GaAs. Работа выполнена в рамках международного гранта UZB-56 (J).

Полупроводник	Примесь	$E_i = (1,2\div 1,3)E_{g,i}$ эВ	Формулы твердых растворов замещения
a-Si	InAs	0,6	
	GaSb	0,9	
c-Si	GaSb	0,9	$(Si)_2(1-x)(GaSb)_x$
	GeSn	0,55	$(Si)_2(1-x)(GeSn)_x$
GaAs	Ge ₂ или 2Ge	0,85	$(Ge)_2x(GaAs)_{1-x}$
	GeSn	0,55	$(GeSn)_x(GaAs)_{1-x}$
	Si ₂ или 2Si	1,3	$(Si)_2x(GaAs)_{1-x}$
	SiGe	1,1	$(SiGe)_x(GaAs)_{1-x}$
	SiSn	1,04	$(SiSn)_x(GaAs)_{1-x}$
	InAs или In	0,67	$(InAs)_x(GaAs)_{1-x}$ или $In_xGa_{1-x}As$
	GaSb или Sb	0,9	$(GaSb)_x(GaAs)_{1-x}$ или $GaSb_xAs_{1-x}$
	ZnGeAs ₂ или ZnGe	1,05	$(ZnGeAs_2)_x(2GaAs)_{1-x}$ или $(ZnGe)_x(Ga_2)_{1-x}As_2$
	ZnSnAs ₂ или ZnSn	0,85	$(ZnSnAs_2)_x(2GaAs)_{1-x}$ или $(ZnSn)_x(Ga_2)_{1-x}As_2$
	CdGeAs ₂ или CdGe	0,73	$(CdGeAs_2)_x(2GaAs)_{1-x}$ или $(CdGe)_x(Ga_2)_{1-x}As_2$
	PbS	0,5	$Ga_2(PbS)_x(As_2)_{1-x}$
PbSe	0,42	$Ga_2(PbSe)_x(As_2)_{1-x}$	

ЛИТЕРАТУРА

1. Keevers M.J. and Green M.A., J. Appl. Phys., 1994. vol. 75, no. 8, pp. 4022-4031.
2. Веаусаме G., Браун A. S., Кееверс M. J., Коркиш R. and Грин M. A. // Prog. Photovolt: Res. Appl. 2002, 10, 345–353. (DOI:10. 1002/pip 433).
3. Luque A. and Marti A., Phys. Rev. Lett., 1997, 78, №26. P. 5014-5017.
4. Saidov M.S., Applied Solar Energy (Geliotekhnika), 2001, V. 37, N. 3, p. 1–6.
5. Saidov M.S., Applied Solar Energy(Geliotekhnika), 1997. V. 33, N. 5, p. 48-55.
6. М.С.Саидов Гелиотехника. 2003. № 3. С.84-87.
7. Kressel H., Dunse J.U., Nelson H. and Hawrylo F.Z. // J. Appl. Phys. 1968. V. 39. № 4. P. 2006-2011.
8. Арсенид галлия. Получение и свойства. Под ред. Кесаманлы Ф.П., Наследова Д.Н. Изд-во “Наука”. М. 1974.
9. Алферов Ж.И., Вартанян Р.С., Корольков В.И., Моқан И.И., Улин В.П., Явич Б.С., Яковенко А.А. // ФТП. 1982. Т.16. №5. С. 887-890.