

## **ПРИМЕСНЫЕ ВОЛЬТАИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭНЕРГИИ**

*М.С. Саидов*

*ФТИ НПО “Физика-Солнце” АН РУз, г. Ташкент*

В последние годы разрабатывается концепция третьего поколения солнечных элементов (СЭ) с целью дальнейшего повышения их КПД за счет примесного фотовольтаического (ПФВ) эффекта – образования дополнительных электронно-дырочных пар при поглощении субзонных фотонов [1–6].

Мы здесь не обсудим результаты исследований ПФВ эффекта, приведенные в многочисленных публикациях, однако отметим, что они являются началом долгосрочных работ по этому вопросу. Хотя еще не удалось экспериментально показать увеличение КПД СЭ на основе ПФВ эффекта это явление считается многообещающим для улучшения энергетических параметров полупроводниковых преобразователей солнечной энергии и термофотовольтаических (ТФВ) систем. В известных нам научных статьях из числа возможных примесных вольтайческих (ПВ) эффектов в полупроводниках изучается только ПФВ эффект.

В данном кратком сообщении обозначены другие возможные ПВ эффекты в полупроводниковых преобразователях энергии, предложена их классификация и даны параметры базовых полупроводников, примесных материалов для исследования процессов обуславливающих ПВ эффекты.

В [7,8] была выдвинута идея о тепловом элементе (тЭ), названным так, чтобы отличить его от известного термоэлемента. тЭ представляет собой полупроводниковый *p-n*- или гетеропереход где может возникать ПВ эффект при нагреве из-за разности температур полупроводника (печи) и нагрузки (потребителя). Назовем это примесным тепловольтаическим (ПтВ) эффектом.

В поисках способа уменьшения потерь, связанных с термализацией горячих электронов индуцированных сверхзонными фотонами в [9] была предложена идея о валентно-зонным примесным фотовольтаическом (ВЗПФВ) эффекте, когда примесь вносит энергетический уровень в валентную зону.

Известно, что при действии СЭ ~ 80% солнечного излучения превращается в тепло и повышает его температуру до 50–80 °С в зависимости от температуры окружающего воздуха. Для совместного использования субзонных фотнов и тепла СЭ предлагаем рассмотреть комбинации ПФВ и тепловольтаического (тВ) эффектов в качестве отдельных ПВ эффектов,

которые возможны если энергетический уровень примеси  $E_i$  близки ко дну зоны проводимости  $E_c$  или к потолку валентной зоны  $E_v$  как это показано на рис.1 а,б. Когда  $E_c - E_i = 0,2$  эВ, переход электронов 2 под действием субзонных фотонов происходит только после перехода 1 (рис. 1 а) и имеет место примесный термофотовольтаический (ПтФВ) эффект. Когда  $E_i - E_v \sim 0,2$  эВ, последовательность переходов под действием фотона и тепла меняется (рис. 1 б) и возникает примесный фототермовольтаический (ПФтВ) эффект.

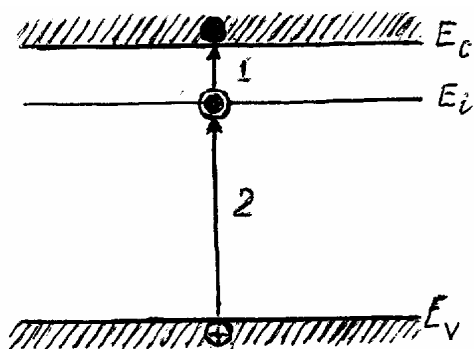


Рис 1, а. Последовательность тепло- (1) и фотоиндуцированных (2) электронных переходов в ПтФВ эффекте.

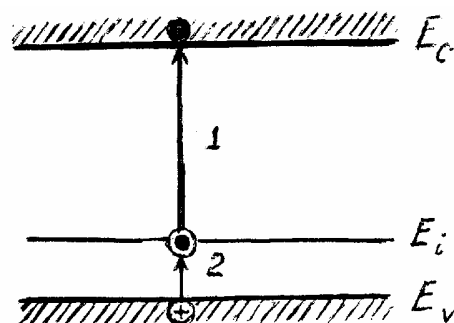


Рис. 1, б. Последовательность фото- (1) и теплоиндуцированных (2) электронных переходов в ПФтВ эффекте.

Различные ПВ эффекты могут быть использованы для улучшения полупроводниковых фотоэлементов термофотовольтаических (ТФВ) систем. Несмотря на общности физических процессов в СЭ и фотоэлементах ТФВ систем примесные термофотовольтаические (ПТФВ) эффекты целесообразно рассмотреть в отдельности как ПТФВ, примесный теплотермофотовольтаический (ПтТФВ) и примесный термофототермовольтаический (ПТФтВ) эффекты. Для ориентировочного значения  $E_i$  в [7] была использована величина ширины запрещенной зоны  $E_{gi}$  примесного полупроводника согласно  $E_c - E_i = E_{gi}$ . Тогда  $E_{gi} = 0,1-0,3$  эВ и  $E_g - E_{gi} = 0,1-0,3$  эВ ( $E_g$  - ширина запрещенной зоны основного полупроводника) можно использовать как условия для выбора примесей и исследования ПТФВ, ПтТФВ и ПТФтВ эффектов соответственно.

В таблице представлены номенклатура ПВ эффектов, отдельные примеры базового и примесного полупроводников, значения  $E_{gi}$ , и также формулы твердых растворов.

Эффект	Полупроводник к (растворитель)	Примесь	Предполагаемый $E_c - E_i = E_{gi}$ , эВ	Формула твердого расвора
Примесный фото	$\alpha$ -Si:H	InAs	0,47	

вольтаический (ПФВ)	GaAs	GaSb	0,7	$(\text{GaAs})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$
		Ge <sub>2</sub>	0,65	
Примесный фототепловольтаический (ПФтВ)	GaAs	Si <sub>2</sub>	1,1	$(\text{GaAs})_{1-x}(\text{Si}_2)_x$
Примесный теплофототепловольтаический (ПтФВ)	GaAs	InSb	0,18	$(\text{GaAs})_{1-x}(\text{InSb})_x$
	GaAs	InAs	0,47	$\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x \text{As}$
Примесный термофототепловольтаический (ПТФВ)	GaSb	InAs	0,47	$(\text{GaSb})_{1-x}(\text{InAs})_x$
	Ge <sub>2</sub>	InAs	0,47	$(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InAs})_x$
	Si <sub>4</sub>	CdGeAs <sub>2</sub>	0,53	$(\text{Si}_4)_{1-x}(\text{CdGeAs}_2)_x$
Примесный термофототепловольтаический (ПТФтВ)	GaSb	InAs	0,47	$(\text{GaSb})_{1-x}(\text{InAs})_x$
	2GaSb	CdGeAs <sub>2</sub>	0,53	$(2\text{GaSb})_{1-x}(\text{CdGeAs}_2)_x$
Примесный теплотермофототепловольтаический (ПтТФВ)	Ge <sub>2</sub>	InSb	0,18	$(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InSb})_x$
	2GaSb	InSnSb <sub>2</sub>	0,3	$(2\text{GaSb})_{1-x}(\text{InSnSb}_2)_x$
Примесный тепловольтаический (ПтВ)	InP	Ge <sub>2</sub>	0,65	$(\text{InP})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$
	Si <sub>4</sub>	CdGeAs <sub>2</sub>	0,53	$(\text{Si}_4)_{1-x}(\text{CdGeAs}_2)_x$
Валентнозонно-примесный фототепловольтаический (ВЗПФВ)	Si <sub>2</sub>	GaP	2,25	$(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$
	Si <sub>2</sub>	CdS	2,5	$(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Keevers M. J., Green M. A. // Solar Energy Materials and Solar Cells. 1996. V. 41/42. P. 195–204.
2. Hiroto Kasai, Hideki Matsumura. // Solar Energy Materials and Solar Cells. 1997. V. 48. P. 93–100.
3. Schmeits M., Mani A. A. // J. Appl. Phys. 1999. V. 85. N. 4. P. 2207–2212.
4. Antonio Luque and Antonio Marti // Prog. Photovoltaic Res. Appl., 2001. 9. P. 73–86. (DOI:10. 1002/pip 354).
5. Karazhanov S. Zh. // J. Appl. Phys. 2001. V. 89. N. 7. P. 4030–4036.
6. Beaucame G., Brown A. S., Keevers M. J., Corkish R. and Green M. A. // Prog. Photovolt: Res. Appl. 2002, 10, 345–353. (DOI:10. 1002/pip 433).
7. Saidov M. S. // Applied Solar Energy (Geliotekhnika). 2000. V. 36. N. 1. P. 1–7.
8. Saidov M. S. // Applied Solar Energy (Geliotekhnika). 2000. V. 36. N. 3. P. 1–5.
9. Saidov M. S. // Applied Solar Energy (Geliotekhnika). 2002. V. 38. N. 1. P. 1–4.