

05;12

Влияние степени компенсации примесных уровней серы на фотопроводимость кремния в спектральной области $10.6 \mu\text{m}$

© Г.Б. Горлин, В.Т. Туланов, Х.Б. Сиябеков

Ташкентский государственный университет,
700095 Ташкент, Узбекистан

(Поступило в Редакцию 23 декабря 1994 г. В окончательной редакции 5 марта 1996 г.)

Экспериментально исследовано влияние степени компенсации примесных уровней $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$ на фотопроводимость в спектральной области $10.6 \mu\text{m}$. Проведением теоретического расчета для одноуровневой системы при различной степени компенсации и для двух энергий активации (ΔE) установлено, что в $10.6 \mu\text{m}$ фотопроводимости участвуют не менее двух уровней примеси.

Фотопроводимость кремния, легированного серой, в области $10 \mu\text{m}$ изучена крайне мало. Известна одна работа [1], выполненная при охлаждении фотоприемника до 5 К. В данной работе исследовалось влияние степени компенсации примесных уровней $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$ на десятимикронную фотопроводимость при температуре жидкого азота. Компенсирующими примесями донорных уровней являлись акцепторы, созданные при облучении кремния различными дозами γ -излучений.

Известно, что при γ -облучении кремния создается ряд акцепторных и донорных уровней в запрещенной зоне [2]. Поскольку донорные уровни, созданные γ -облучением, находятся в нижней половине запрещенной зоны, а сера создает ряд донорных уровней в верхней половине запрещенной зоны, то они никак не проявляют себя в $10 \mu\text{m}$ фотопроводимости. Повлиять могут только акцепторные уровни, уменьшая степень заполнения донорных уровней, созданных серой, и концентрацию свободных электронов в зоне проводимости.

Исследовались образцы с удельным сопротивлением $80 \Omega \cdot \text{cm}$, полученные путем диффузии серы в бестигельный кремний p -типа с начальным удельным сопротивлением $1600 \Omega \cdot \text{cm}$. Образцы имели форму параллелепипеда размером $10 \times 8 \times 1 \text{ mm}$. На одной грани с большей площадью на расстоянии 7 мм друг от друга наносились электрохимически два никелевых контакта. Источником излучения служил импульсный CO_2 лазер ЛГИ-50, дающий импульс длительностью $150 \mu\text{s}$, с энергией 13 мДж. К образцу прикладывалось импульсное напряжение величиной 10 В. Величина темнового и фототоков также измерялись в импульсном режиме. Источником γ -излучения служил ^{60}Co , создающий поток $1.7 \cdot 10^{12}$ квант/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$.

В табл. 1 приведены полученные значения темнового тока (I_T), фототока (ΔI) и их кратности (κ) от времени (Δt) γ -облучения для двух образцов. Видно, что при γ -облучении (по мере увеличения степени компенсации a) темновой ток и фототок уменьшаются, в то время как кратность резко увеличивается (на два порядка).

Такое большое увеличение кратности при увеличении степени компенсации не может быть объяснено, если

считать, что в фотопроводимости участвуют переходы только с одного уровня.

В табл. 2 приведены результаты расчета для одноуровневой системы при различной степени компенсации и для двух энергий активации (ΔE) при следующих параметрах: концентрация центров $M = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, сечение захвата фотона $-\sigma_\phi = 5 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$, сечение захвата электрона $-\sigma_s = 10^{-14} \text{ cm}^2$, плотность падающего

Таблица 1.

№ образца	I_T, A	$\Delta I, \text{A}$	$\kappa = \Delta I / I_T$	t, h
11	$6 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$	0
	10^{-6}	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-1}$	3
	10^{-8}	$2.5 \cdot 10^{-9}$	$2.5 \cdot 10^{-1}$	21
13	10^{-3}	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-2}$	0
	10^{-6}	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	9

Таблица 2.

a	$E, \text{eV} = 0.11$		
	n_T, cm^{-3}	$\Delta n, \text{cm}^{-3}$	$\kappa = \Delta n / n_T$
0.99998	$1.94 \cdot 10^7$	$1.28 \cdot 10^7$	0.66
0.98	$1.97 \cdot 10^{10}$	$1.29 \cdot 10^{10}$	0.65
0.93	$7.19 \cdot 10^{10}$	$4.61 \cdot 10^{10}$	0.64
0.9	$1.05 \cdot 10^{11}$	$6.7 \cdot 10^{10}$	0.64
0.8	$2.3 \cdot 10^{11}$	$1.42 \cdot 10^{11}$	0.62

a	$E, \text{eV} = 0.08$		
	n_T, cm^{-3}	$\Delta n, \text{cm}^{-3}$	$\kappa = \Delta n / n_T$
0.99998	$1.370 \cdot 10^8$	$1.7 \cdot 10^6$	0.012
0.98	$1.375 \cdot 10^{11}$	$1.6 \cdot 10^9$	0.012
0.93	$4.833 \cdot 10^{11}$	$5.6 \cdot 10^9$	0.012
0.9	$6.24 \cdot 10^{11}$	$7.9 \cdot 10^9$	0.011
0.8	$1.397 \cdot 10^{12}$	$1.6 \cdot 10^{10}$	0.011

Примечание. Δn — концентрация фотоэлектронов.

10.6 μm излучения $J = 10^{22} \text{ kV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}$, температура фотоприемника $T = 77 \text{ K}$.

Решалась следующая система уравнений:

$$v\sigma_3 n(M - m) = v\sigma_3 m N_{cm} + \sigma_\phi j m,$$

$$M(1 - a) = m + n, \quad N_{cm} = N_c e^{-\Delta E/kT},$$

где N_c — эффективная плотность состояний в зоне проводимости, m — число занятых уровней, v — тепловая скорость электронов, n — концентрация свободных электронов.

Видно, что в одноуровневой системе при изменении темнового и фототоков на четыре порядка за счет изменения компенсации кратность изменяется на один процент.

Сравнение кратности для двух центров, обладающих одинаковыми сечениями захвата фотона и электрона, но имеющих разную энергию активации (0.08 и 0.11 eV), показывает, что она может отличаться более, чем на полтора порядка. Таким образом, мы пришли к выводу, что фотопроводимости при значении в 10.6 μm участвует не менее двух уровней.

Работы, посвященные изучению энергетического спектра примесных уровней в кремнии, созданных серой, можно разбить на 4 группы. Есть работы, в которых уровни, которые могли бы обеспечить фотопроводимость в области 10 μm , не обнаружены вовсе [3], работы, в которых обнаружен один уровень с энергией активации 0.08 [4] и 0.109 eV [5], наконец, работы, в которых выявлены одновременно два уровня с энергией активаций 0.08 и 0.109 eV [6,7].

Результаты настоящей работы позволяют сделать предположение, что такой разброс можно объяснить разной степенью компенсации исследованных материалов, определяемой содержанием акцепторной примеси в исходном материале и концентрацией введенной серы.

Список литературы

- [1] *Sclar N.* // *Infrared Phys.* 1976. Vol. 16. P. 435–438.
- [2] *Вавилов В.С., Кекелидзе И.П., Смирнов Л.С.* Следствие излучений на полупроводники. М.: Наука, 1988.
- [3] *Жданович Н.С., Козлов Ю.И.* // *ФТП.* 1976. Т. 10. Вып. 10. С. 1846–1850.
- [4] *Brotherton S.D., King M.J., Parker G.J.* // *J. Appl. Phys.* 1981. Vol. 52. N 7. P. 4649–4658.
- [5] *Camphausen D.L., Jams H.M., Sladek R.J.* // *Phys. Rev.* 1970. Vol. 132. N 6. P. 1899–1904.
- [6] *Pajot B., Grossmann G., Astier M., Nand C.* // *Sol. St. Commun.* 1985, Vol. 54. N 1. P. 57–60.
- [7] *Pajot B., Nand C.* // *J. Physiqu.* 1984. Vol. 45. P. 539–543.