

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР
ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОГО АМОРФНОГО ГИДРО-
ГЕНИЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

И. П. Акимченко, В. С. Васьков, М. Заветова^{*},
В. В. Краснопевцев, Е. Г. Паншина

УДК 621.315.592:539.213

Исследованы спектры фотопроводимости α -Si(H), имплантированного ионами N и Ga. Установлено, что фоточувствительность пленок α -Si(H):Ga выше, чем пленок α -Si(H):N. Показано, что переход с энергией 1,2 эВ обусловлен дефектами, увеличивающими плотность локальных состояний.

Зведение значительных количеств водорода в процессе наращивания пленок аморфного кремния приводит к заполнению большей части свободных валентных связей атомов Si. В работе /1/ показано, что в результате этого в гидrogenизированном аморфном кремнии α -Si(H) введение примесей элементов III и V группы позволяет задавать тип проводимости и создавать пленочные структуры с p-n-переходами или барьерами Шоттки. Авторами работ /2,3/ опубликованы данные о солнечных батареях на основе α -Si(H). С развитием этого типа преобразователей солнечной энергии связаны новые перспективы в гелиоэнергетике /4/.

В нашем сообщении приведены данные с влиянии ионной имплантации примесей галлия и азота на фотопроводимость α -Si(H). Обсуждается вероятный механизм влияния имплантированных примесей на энергетический спектр α -Si(H).

^{*} Физический институт ЧСАН, Прага.

Фотопроводимость α -Si(H) изучалась в работах /5,6/, в которых показано, что при энергиях 1,1 - 1,3 эВ в спектрах фотопроводимости имеется перегиб с последующим резким нарастанием сигнала при энергиях $> 1,5$ эВ. Красная граница фоточувствительности может меняться в довольно широких пределах, что определяется положением уровня Ферми; перегиб при 1,2 эВ объясняется локальным увеличением плотности состояний в запрещенной зоне, а более высокоэнергетичные переходы являются междузонными.

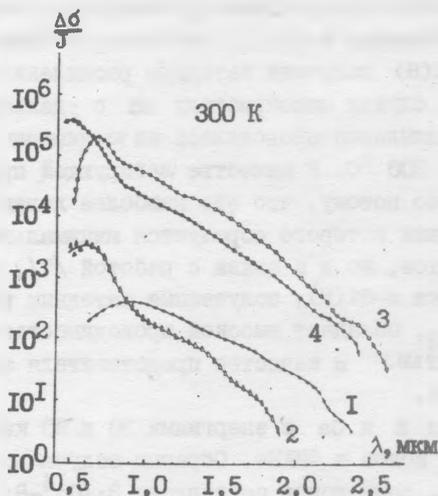
В настоящей работе представлены результаты исследования спектров фотопроводимости α -Si(H), имплантированного ионами N и Ga. Пленки α -Si(H) получены катодным распылением в смеси Ar с 9,6% N₂. Катодом служил монокристалл Si с удельным сопротивлением 60 Ом·см. Напыление проводилось на кварцевые подложки с температурой около 300 °С. В качестве легирующей примеси азот был выбран не только потому, что это наиболее легкий элемент V группы, при внедрении которого образуется минимальное количество радиационных дефектов, но и в связи с работой /7/, в которой показано, что пленки α -Si(H), полученные катодным распылением в смеси Ar, N₂ и H₂, обладают высокой проводимостью и большой фоточувствительностью. В качестве представителя элементов III группы внедрялся Ga.

Внедрение ионов N и Ga с энергиями 30 и 90 кэВ проводилось на ускорителе ионов в ФИАНе. Образцы облучались при комнатной температуре, дозы ионов составляли $3 \cdot 10^{14}$ - $8 \cdot 10^{15}$ см⁻². Оценка глубины распределения внедренных ионов Ga и N дает значения 900 и 1200 Å, соответственно.

После имплантации образцы отжигались при температурах 250 и 280 °С в течение 30 мин или 1 час. Спектры фотопроводимости были записаны при комнатной температуре в области длин волн от 2,5 до 0,5 мкм. Источником излучения служила лампа накаливания. Частота модуляции света составляла 120 Гц. Омические контакты к образцам изготавливались из эвтектики In-Ga или из напыленного Au, на который затем напаивался In. Освещение контактов не меняло формы и величины сигнала.

На рис. 1 представлены нормализованные спектры фотопроводимости α -Si (кривая 1), α -Si(H) (кривая 2) и α -Si(H):N до и после отжига при 260 °С (кривые 3 и 4, соответственно). Из рисунка следует, что спектр α -Si не имеет структуры и в нем от-

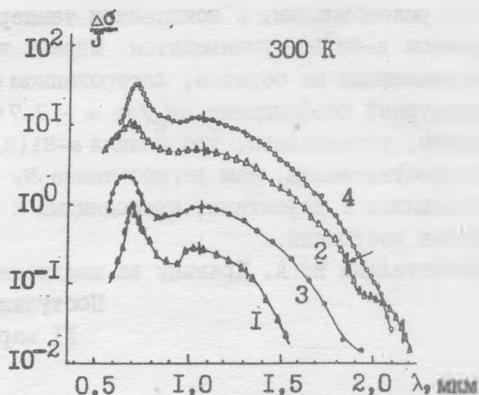
существует увеличение сигнала, обусловленное междузонными переходами. В α -Si(N) при длине волны 0,9 мкм сигнал начинает расти и увеличивается почти на 1,5 порядка. Ширина запрещенной зоны E_g , определенная по 1/2 величины сигнала в коротковолновой области составляет 1,65 эВ. Используя эмпирическую формулу $E_{g,opt} = 1,45 \text{ эВ} + 2,5 X$, где X - содержание водорода /8/, мы оценили концентрацию H_2 в исследуемых пленках и получили значение около 6%.



Р и с. 1. Спектры фотопроводимости 1 - α -Si; 2 - α -Si(N); 3 - α -Si(N):N; 4 - α -Si(N):N после отжига при 260 °C в течение 30 мин

Внедрение ионов N увеличивает фоточувствительность во всей спектральной области почти на 3 порядка и сдвигает длинноволновый край с 1,9 до 2,5 мкм. Нарастание сигнала в коротковолновой области сохраняется, но уменьшается его относительная величина. Кроме того, начиная с $\lambda = 0,68$ мкм в имплантированном образце происходит резкое падение фоточувствительности, что указывает на увеличение скорости поверхностной рекомбинации. Отжиг при 250 °C восстанавливает форму спектра, не снижая фоточувствительность. Из рис. 1 также следует (кривая 3), что в области энергий

1,1 - 1,3 эВ имеется незначительное увеличение сигнала, исчезающее после отжига. Появление сигнала при 1,2 эВ в результате ионной бомбардировки и его исчезновение после отжига позволяют сделать вывод о том, что увеличение плотности состояний связано с разупорядочением структуры.



Р и с. 2. Спектры фотопроводимости a-Si(H) с внедренными ионами N и Ga. (номера кривых соответствуют номерам образцов в табл. I)

На рис. 2 представлены спектры фотопроводимости 4-х образцов a-Si(H), имплантированных N и Ga, а в табл. I приведены энергии переходов, определенные из этих спектров. Из приведенных данных

Таблица I

№ образца	Ион	Энергия, кэВ	Доза, 10^{22} ион/см ²	$E_{g,phc}$, эВ	энергии переходов, эВ		
					I	II	III
1	N	30	$8 \cdot 10^{14}$	1,67		0,95	1,18
2	N	30	$8 \cdot 10^{15}$	1,65	0,58	0,67	1,18
3	Ga	90	$3 \cdot 10^{14}$	1,65		0,71	1,18
4	Ga	90	$3 \cdot 10^{15}$	1,67	0,59	-	1,18

следует, что при практически одинаковых концентрациях внедренных ионов пленки $a\text{-Si(H)}$ с Ga более фоточувствительны, чем с N, а наличие нескольких переходов в спектрах указывает на низкую плотность состояний в запрещенной зоне. Зависимость величины сигнала от интенсивности освещения при $\lambda = 0,9$ мкм ($I = 10^{14} - 5 \cdot 10^{15}$ квант./см².с) линейна, что свидетельствует о мономолекулярном процессе рекомбинации. С понижением температуры фоточувствительность пленок $a\text{-Si(H)}$ уменьшается. Ширина запрещенной зоны при 120 К, определенная на образце, легированном Ga, составляет 1,7 эВ. Температурный коэффициент $dE_g/dT = -2,7 \cdot 10^{-4}$ эВ/К.

Таким образом, установлено, что пленки $a\text{-Si(H)}$, легированные Ga, более фоточувствительны, чем легированные N. Переход при энергии 1,2 эВ связан с дефектами, приводящими к локальному увеличению плотности состояний.

Авторы признательны В. А. Дравину за внедрение ионов N и Ga.

Поступила в редакцию

II марта 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. W. E. Spear, Doped amorphous semiconductors, Adv. in Phys., 26, N 6, 811 (1977).
2. D. E. Karlson, C. R. Wronski, Appl. Phys. Lett., 28, 671 (1976).
3. T. D. Moustakas, J. Electron. Mat., 8, 391 (1979).
4. J. Loferski, Surface Sci., 86, 424 (1979).
5. R. J. Loveland, W. E. Spear, A. Al-Sharbaty, J. of Non-Crystalline Solids, 13, 55 (1973).
6. J. I. Pankove, F. H. Pollak, C. Schnabolk, The 8-th Int. Conf. on Amorphous Semiconductors, Boston, 1979.
7. J. Baixeras, D. Mencaraglia, P. Andro, Phil. Mag. B, 32, N3, 403 (1978).
8. A. Friederich, D. Kaplan, J. Electron. Mat., 8, 79 (1979).