

0.4 ат% наблюдается рост концентрации электронов при 77 К от $7 \cdot 10^{11}$ до $1.5 \cdot 10^{14}$ см⁻³ (кривые 1, 3) соответственно. В образцах с $N_{Ga} = 0.4$ ат%, полученных с отклонением от стехиометрии $z = 0.001$, концентрацию электронов при 77 К удалось понизить до $n \approx 10^{12}$ см⁻³ (кривая 2).

Образцы состава, соответствующего $x = 0.04$, при различных параметрах N_{Ga} (0.2 и 0.4 ат%) и z ($0 \leq z \leq 0.006$) сохраняют дырочный тип проводимости в области низких температур. На всех образцах обнаружена инверсия знака коэффициента Холла. С увеличением z от 0.002 до 0.006 растет как температура инверсии T_{inv} (от 95 до 140 К), так и концентрация дырок при 77 К (от $1.4 \cdot 10^{12}$ до $4 \cdot 10^{16}$ см⁻³). Наиболее низкие концентрации носителей при 77 К получены в образцах с $N_{Ga} = 0.2$ ат% при $z = 0$ и в образцах с $N_{Ga} = 0.4$ ат% при $z = 0.002$; $p = 6 \cdot 10^{11}$ и $1.4 \cdot 10^{12}$ см⁻³ соответственно.

Значения энергии активации, рассчитанные по наклону зависимостей $\lg(nT^{-3/2}) = f(10^3/T)$ для твердых растворов с $x = 0.02$ и 0.04 при $N_{Ga} = 0.2$ ат% и $z = 0$, составляют соответственно $E_c = -0.085$ и $E_c = -0.096$ эВ.

На основании вышеприведенных результатов можно сделать следующие выводы. Характер температурной зависимости $\lg|R_H| = f(10^3/T)$ твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe : Ga$ (наличие инверсии знака R_H и тип проводимости) определяется главным образом составом: т. е. x ; достигается $Pb_{1-x}Sn_xTe : Ga$ с концентрацией носителей, близкой к собственной, получение соответствующим подбором параметров x , N_{Ga} и z ; высокоомное состояние связано с образованием глубокого уровня, который движется в направлении к валентной зоне при увеличении содержания олова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В. И. Кайданов, Ю. И. Равич. УФН, 145, 96 (1985).
- [2] Г. С. Бушмарина, Б. Ф. Грузинов, И. А. Дабкин, Е. Я. Лев, Б. Я. Мойжес, С. Г. Супрун. Изв. АН СССР. Неорг. матер., 23, 222 (1987).
- [3] С. А. Белоконь, Л. Н. Верещагина, И. И. Иванчик, Л. И. Рябова, Д. Р. Хохлов. ФТП, 26, 264 (1992).
- [4] Б. А. Акимов, Н. Б. Брандт, Л. И. Рябова, Д. Р. Хохлов, С. М. Чудинов, О. Б. Яценко. Письма ЖЭТФ, 31, 304 (1980).
- [5] Г. С. Бушмарина, Б. Ф. Грузинов, Т. Т. Дедегкаев, И. А. Дабкин, Т. Б. Жукова, Е. Я. Лев. Изв. АН СССР. Неорг. матер., 16, 2136 (1980).

Редактор Л. В. Шаронова

ФТП, том 27, вып. 8, 1993

АМОРФНЫЙ ГИДРИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ, ЛЕГИРОВАННЫЙ ДИСПРОЗИЕМ

Г. С. Куликов, М. М. Мездрогина, С. К. Першеев, К. П. Абдурахманов

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, Россия

(Получено 21 января 1993 г. Принято к печати 26 марта 1993 г.)

Аморфный гидрированный кремний ($a\text{-Si:H}$) находит применение в электронике при производстве солнечных элементов и ряда других полупроводниковых приборов. Электрофизические свойства $a\text{-Si:H}$ в существенной мере определя-

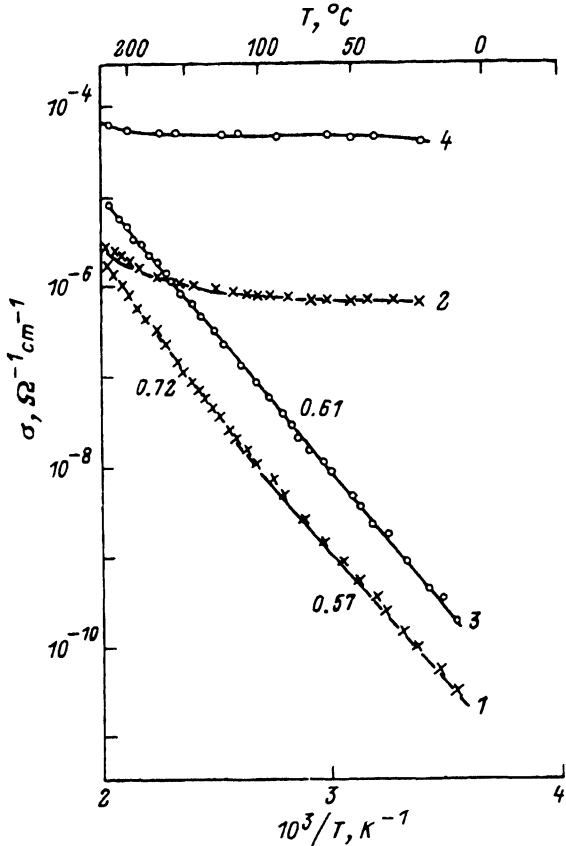


Рис. 1. Температурные зависимости темновой (1, 3) и фотопроводимости (2, 4) пленок α -Si:H. 1, 2 — исходная нелегированная пленка; 3, 4 — пленка, легированная Dy в процессе выращивания.

ются (наряду с входящим в его состав водородом) концентрацией легирующих примесей.

Одной из таких примесей, эффективно воздействующих на свойства α -Si:H, является редкоземельный элемент диспрозий [1]. Известно, что в α -Si:H, как и в другие полупроводниковые материалы, введение примесей можно осуществить различными способами: в процессе выращивания, с помощью имплантации, диффузионной методикой [2-4]. В настоящей работе исследовано влияние диспрозия на электропроводность и фотопроводимость пленок α -Si:H. При этом примесь диспрозия вводилась в пленку двумя способами — при выращивании пленки в ВЧ плазме путем распыления мозаичной (Si + Dy)-мишени и диффузионным легированием выращенной пленки. Концентрация введенного диспрозия оценивалась с помощью микрозондового анализа. Диффузия диспрозия в α -Si:H проводилась при температуре 400 °C в течение 0.5—25 ч. Толщина пленок α -Si:H составляла 0.6—1 мкм. Фотоэлектрические свойства исследовались в интервале температур 20—220 °C. На рис. 1 приведены температурные зависимости темновой и фотопроводимости контрольных нелегированных пленок с диспрозием, введенным при выращивании, а на рис. 2 — аналогичные зависимости для пленок с диффузионно введенным диспрозием. Значения энергии активации проводимости E_{od} и отношение темновой к фотопроводимости при комнатной

Образец $a\text{-Si:H}$	E_{σ_d} эВ	σ_d , Ом $^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	σ_{ph} , Ом $^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	$\frac{\sigma_{ph}}{\sigma_d}$
Нелегированная пленка	0.72 0.57	10^{-10}	$5.9 \cdot 10^{-7}$	$5.9 \cdot 10^3$
Пленка, легированная Dy при выращивании	0.61	$5.6 \cdot 10^{-10}$	$3.98 \cdot 10^{-5}$	$7.1 \cdot 10^4$
Исходная нелегированная пленка	0.73 0.41	$1.73 \cdot 10^{-10}$	$1.44 \cdot 10^{-7}$	$8.3 \cdot 10^2$
Контрольная отожженная пленка (400 °C, 0.5 ч)	0.69 0.4	$1.31 \cdot 10^{-10}$	$1.99 \cdot 10^{-8}$	$1.5 \cdot 10^2$
Диффузионно-легированная Dy пленка (400 °C, 0.5 ч)	0.65 0.8	10^{-10}	$8.7 \cdot 10^{-7}$	$6.9 \cdot 10^3$

температуре σ_{ph}/σ_d приведены в таблице. Из рисунков и таблицы видно, что при легировании $a\text{-Si:H}$ диспрозием независимо от способа введения примеси увеличивается отношение темновой к фотопроводимости. Наряду с этим нами обнаружено, что при введении примеси диспрозия также повышается фоточувствительность пленок $a\text{-Si:H}$ в ультрафиолетовой области спектра (это наблюдалось ранее в работе [5]). Следует отметить, что приведенные данные получены на пленках $a\text{-Si:H}$ с концентрацией диспрозия $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, при которой отношение σ_{ph}/σ_d имеет максимальное значение. По нашему мнению, влияние диспрозия на фотоэлектрические свойства

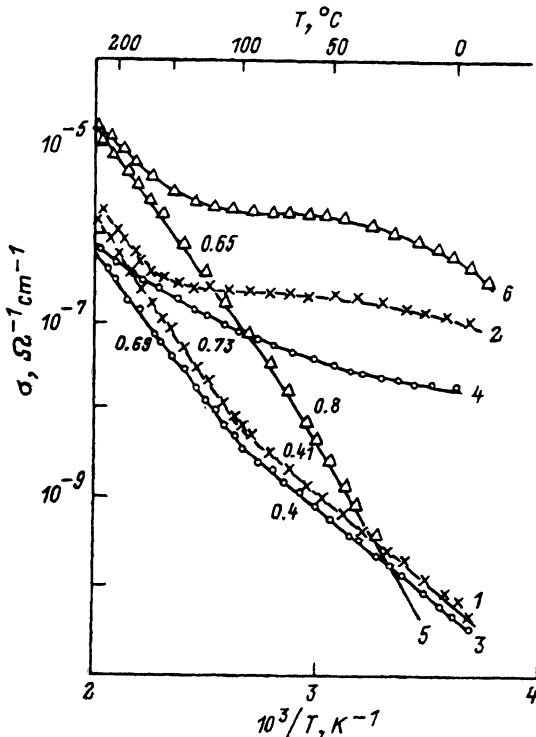


Рис. 2. Температурные зависимости темновой (1, 3, 5) и фотопроводимости (2, 4, 6) пленок $a\text{-Si:H}$: Н. 1, 2 — исходная нелегированная пленка; 3, 4 — контрольная отожженная пленка; 5, 6 — пленка, диффузионно легированная Dy (400 °C, 0.5 ч).

$a\text{-Si:H}$ может быть связано со структурными изменениями аморфной сетки $a\text{-Si:H}$, происходящими при введении этой примеси. О возможности таких изменений свидетельствуют увеличение поглощения около 2100 см^{-1} в ИК спектрах пленок, в которые диспрозий вводился при выращивании (по интенсивности поглощения в этой области обычно судят о степени «микроструктурности» сетки [6]), а также появление широкой полосы поглощения с максимумом около 850 см^{-1} , для выяснения природы которой требуются дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] М. М. Мездрогина, Ф. С. Насрединов, У. С. Турсунов, Р. А. Хайдаров, П. П. Серегин, А. Ф. Бардаמיד. ФТП, 27, 1123 (1991).
- [2] Физика гидрогенизированного аморфного кремния (под ред. Дж. Джоунупулоса, Дж. Люковски), вып. II. М. (1988).
- [3] W. Beyer, H. Wanger. J. Appl. Phys., 12, 8745 (1982).
- [4] К. Х. Ходжаев. Автореф. канд. дис. Л. (1991).
- [5] А. Р. Регель, У. Ж. Абдуманапов, В. А. Васильев, М. М. Мездрогина, Ф. С. Насрединов, П. П. Серегин. ФТП, 23, 1552 (1989).
- [6] E. Bhattacharya, A. H. Mahan. Appl. Phys. Lett., 52, 1587 (1988).

Редактор В. В. Чалдышев

ФТП, том 27, вып. 8, 1993

ДИФфуЗИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ СЕРЕБРом АМОРФНОГО ГИДРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЬЮ БОРА

Г. С. Куликов, М. М. Мездрогина, С. К. Першеев

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получено 21 января 1993 г. Принято к печати 26 марта 1993 г.)

В последние годы наряду с моно- и поликристаллическим кремнием широкое применение в микроэлектронике и солнечной энергетике находит аморфный гидрированный кремний ($a\text{-Si:H}$). В приборных структурах легированные фосфором или бором слои $a\text{-Si:H}$ могут находиться в контакте с металлическими материалами (например, в солнечных элементах, тонкопленочных транзисторах и т. п., где токоснимающие электроды расположены на p - или n -слоях $a\text{-Si:H}$ [1]), и примеси могут диффундировать в такие слои, изменяя их электрофизические свойства. Экспериментальные данные, полученные рядом авторов [2-4], свидетельствуют о том, что различные примеси диффундируют в $a\text{-Si:H}$ значительно быстрее, чем в кристаллический кремний при соответствующих температурах. Это объясняют участием в диффузионных процессах весьма подвижного в $a\text{-Si:H}$ водорода, а также релаксацией структурной аморфной сетки. В работе [5] было детально изучено влияние диффузионного легирования примесями олова, серебра и железа на электрофизические свойства собственного $a\text{-Si:H}$, не легированного и легированного фосфором в процессе выращивания. Было показано, что диффузия серебра в нелегированные слои $a\text{-Si:H}$, обладающие, как правило, проводимостью n -типа, приводит к появлению большой энергии активации проводимости $E_A^{\text{ср}}$ (до 1 эВ, т. е. $E_A^{\text{ср}} > E_g^{\text{ср}}/2$). Можно ожидать, что использование серебра в качестве контакта с p -слоем приведет к умень-