

$a\text{-Si:H}$  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  $2100\text{ см}^{-1}$  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  $850\text{ см}^{-1}$ , 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

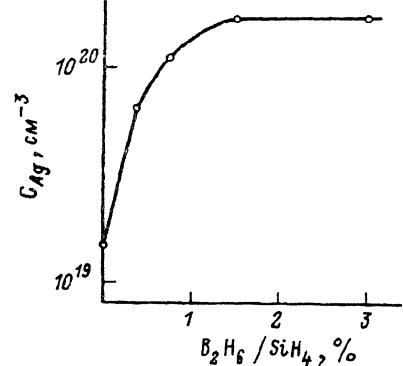
### ДИФфуЗИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ СЕРЕБРом АМОрФНОГО ГИДРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЬЮ БОРА

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-

Рис. 1. Зависимость концентрации продиффундировавшего в пленку  $a\text{-Si:H(B)}$  серебра ( $400^\circ\text{C}$ , 40 мин) от содержания примеси бора, введенного в пленку при выращивании.



шению высоты барьера между металлическим контактом и легированным слоем. Однако влияние диффузионного проникновения серебра на электропроводность слоев  $a\text{-Si:H}$   $p$ -типа не было изучено. В настоящей работе исследованы диффузия серебра и его влияние на электропроводность легированных бором пленок  $a\text{-Si:H}$ . Пленки были получены методом высокочастотного разложения газовой смеси моносилана с дибораном в многоэлектродной системе. Температуры подложки  $300^\circ\text{C}$ , скорость роста пленок  $1.5 \text{ \AA}/\text{с}$  [6]. Выращенные на подложках из кварца или монокристаллического кремния пленки имели толщину  $0.3\text{--}0.4$  мкм.

Ранее было показано [7], что введение диборана в газовую смесь оказывает сильное каталитическое влияние на кинетику роста пленок  $a\text{-Si:H}$ , а следовательно, и на микроструктуру: скорость роста увеличивается более чем в 2 раза при концентрации  $B_2H_6/(SiH_4 + B_2H_6)$  0.1%. При этом наблюдается ярко выраженная негетерогенность микроструктуры, меняется тип связей кремния с водородом: увеличиваются концентрации дигидридов и несвязанного водорода.

Диффузия осуществлялась из напыленного на пленку  $a\text{-Si:H(B)}$  слоя серебра с примесью радиоактивного изотопа  $^{110m}\text{Ag}$  при температуре  $400^\circ\text{C}$  в течение 40 мин. После диффузионного отжига слой непродиффундировавшего серебра удалялся многократным промыванием пленки в смеси  $H_2O_2 + HCl$ . Усредненная концентрация серебра, продиффундировавшего в объем пленки, определялась радиометрированием. На рис. 1 представлена зависимость концентрации продиффундировавшего в пленку серебра от содержания диборана в смеси рабочего газа. Видно, что при изменении содержания  $B_2H_6$  от 0 до 3 об% концентрация диффузионно введенного серебра возрастает от  $10^{19}$  до  $1.6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . При этом максимальная концентрация серебра достигается уже при содержании  $B_2H_6$  около 1.5 об%. Дальнейшее увеличение содержания диборана, как видно из рис. 1, не приводит к увеличению концентрации серебра, продиффундировавшего в пленку.

После диффузионного насыщения пленок  $a\text{-Si:H(B)}$  серебром нами была исследована их электропроводность (темновая проводимость) в интервале температур от  $-50$  до  $220^\circ\text{C}$ . На рис. 2 представлены температурные зависимости электропроводности пленки исходного аморфного гидрированного кремния, легированного бором при выращивании (3 об%  $B_2H_6$ ), пленки  $a\text{-Si:H(B)}$ , диффузионно легированного серебром при температуре  $400^\circ\text{C}$  в течение 40 мин ( $C_{Ag} = 1.6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ), и контрольной пленки, отожженной без серебра при тех же условиях ( $400^\circ\text{C}$ , 40 мин). Отжиг при  $T_A = 400^\circ\text{C}$  ( $T_A > T_s$ ) на воздухе приводит, вероятно, к уменьшению гетерогенности микроструктуры вследствие снятия внутренних напряжений, характерных для неупорядоченной структурной сетки  $a\text{-Si:H(B)}$ .

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что отжиг исходного образца в течение 40 мин приводит к увеличению электропроводности при комнатной температуре примерно на порядок и уменьшению энергии активации проводимости от 0.3 до 0.19 эВ (рис. 2, кривая 3). По нашему мнению, это

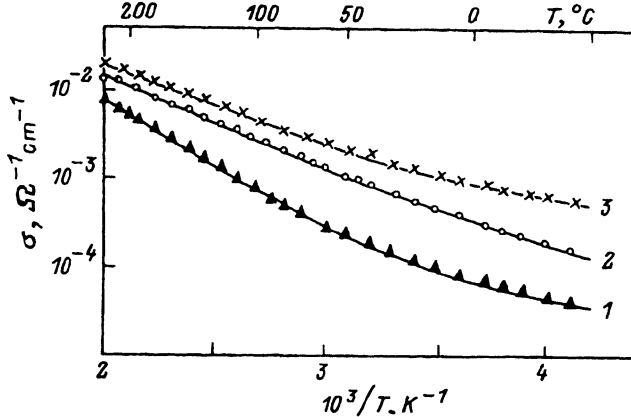


Рис. 2. Температурные зависимости электропроводности пленок  $a\text{-Si:H(B)}$ . Образцы: 1 — исходная пленка; 2 — контрольный (отожженный при  $400^\circ\text{C}$ , 40 мин); 3 — диффузионно легированный серебром ( $400^\circ\text{C}$ , 40 мин).

обусловлено увеличением эффективности легирования бором в процессе отжига, т. е. увеличением доли четырехкоординированного бора в аморфной гидрированной пленке.

Диффузионное введение серебра (до  $10^{20}\text{ см}^{-3}$ ) приводит к частичной компенсации материала (рис. 2, кривая 2), обусловленной либо проявлением донорных свойств примеси серебра [5], либо возникновением компенсирующих структурных дефектов.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: концентрации протифундированного серебра в пленке аморфного гидрированного кремния, легированного бором, возрастает с ростом уровня легирования, т. е. возрастает скорость диффузии серебра; при этом максимальная концентрация серебра, введенного диффузией в пленку при  $400^\circ\text{C}$ , составляет  $1.6 \cdot 10^{20}\text{ см}^{-3}$ ; термоотжиг при  $400^\circ\text{C}$  пленок, легированных бором (3 об%  $\text{B}_2\text{H}_6$ ), приводит к увеличению электропроводности и уменьшению энергии активации проводимости; диффузионное введение серебра в пленку  $a\text{-Si:H(B)}$  приводит к компенсации дополнительной проводимости, создаваемой в результате термоотжига; при этом проводимость имеет единую энергию активации (0.2 эВ) в интервале температур  $20\text{--}220^\circ\text{C}$ .

Таким образом, как показало настоящее исследование, быстрая диффузия серебра в слой  $p$ -типа  $a\text{-Si:H(B)}$  и его влияние на электрофизические свойства таких слоев делают нежелательным применение серебра в качестве контакта к слоям с проводимостью  $p$ -типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Аморфные полупроводники и приборы на их основе (под. ред. Й. Хамакавы). М. (1986).
- [2] D. E. Carlson. *J. Vac. Sci. Techn.*, 20, 290 (1982).
- [3] D. E. Carlson, C. R. Wronski, J. I. Pankove et al. *RCA Rev.*, 38, 211 (1977).
- [4] H. Matsumura, K. Sakai, M. Maeda, S. Furukawa. *J. Appl. Phys.*, 54, 3106 (1983).
- [5] М. С. Аблова, Г. С. Куликов, С. К. Першеев, К. Х. Ходжаев. *ФТП*, 24, 1943 (1990).
- [6] М. М. Мезрогина и др. В кн.: Тез. докл. Всес. сем. «Аморфные гидрированные полупроводники и их применение», 12. Л. (1991).
- [7] J. C. Knights. *J. Non-Cryst. Sol.*, 35/36, 159 (1989).

Редактор В. В. Чалдышев