

рация ОС может быть связана с захватом электронов на глубокие, сильно напряженные состояния хвоста зоны проводимости, энергия активации обусловлена активационным характером переноса электронов к центрам генерации ОС. При более высоких температурах основным становится процесс генерации за счет захвата дырок, перенос которых характеризуется энергией активации порядка протяженности хвоста валентной зоны.

На рис. 3 представлены изменения фотопроводимости отожженной пленки при  $T=336$  К и при разных интенсивностях освещения (интенсивность изменялась с помощью нейтральных фильтров). Видно, что мономолекулярный характер процесса образования ОС при этой температуре сохраняется при всех интенсивностях. Это подтверждается и тем, что коэффициент  $C_1$ , определенный из наклона кривых и характеризующий скорости образования метастабильных ОС, линейно зависит от освещенности  $W$  (вставка на рис. 3).

Один из наиболее характерных результатов заключается в том, что кинетика образования ОС после предварительного освещения при повышенных температурах изменяется. Подавление мономолекулярного процесса может быть связано с исчезновением центров образования ОС — сильно напряженных связей, которые разрываются при захвате одного носителя. Исчезновение этих центров происходит вследствие релаксации решетки с образованием ОС в условиях освещения при повышенных температурах. В пленке, в которой отсутствуют сильно напряженные связи, процесс генерации определяется бимолекулярным механизмом, связанным с одновременным захватом электрона и дырки на слабую связь Si—Si.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Stutzmann M. et al.//Phys. Rev. 1985. В32. Р. 23. [2] Eser E., Urban-ski E.//Appl. Phys. Lett. 1987. 51 (25). Р. 2124. [3] Курова И. А., Мелешко Н. В., Ормонт Н. Н.//ФТП. 1989. 23, № 11. С. 2030. [4] Stutzmann M.//Phil. Mag. 1987. В56. Р. 63.

Поступила в редакцию  
05.06.90

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1991. Т. 32, № 1

УДК 621.315.592

## ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ ПАРОВ ВОДЫ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БАРЬЕРА ШОТТКИ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО ГИДРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

Р. В. Прудников

(кафедра общей физики и молекулярной электроники)

Проведено исследование влияния адсорбции паров воды на вольт-амперные характеристики и частотную дисперсию емкости барьера Шоттки на основе  $a\text{-Si:H}$ . Высказано предположение, что ориентационная поляризуемость молекул воды снижает высоту барьера, а гидратация поверхности, кроме того, оказывает влияние на распределение плотностей локализованных электронных состояний за счет насыщения оборванных связей кремния гидроксильными группами.

Барьеры Шоттки на основе аморфного гидрированного кремния ( $a\text{-Si:H}$ ) находят широкое применение в солнечных батареях. Надежность работы этих приборов в значительной мере зависит от состава окружающей среды. Замечено, что при длительной эксплуатации солнечных батарей наблюдается их деградация. [1]. Поскольку наиболее активное воздействие на электрофизические свойства полупроводников оказывает адсорбция паров воды [2], то следует ожидать аналогичного воздействия и на электрофизические свойства барьеров Шоттки на основе  $a\text{-Si:H}$ . Однако этот вопрос в литературе изучен недостаточно подробно.

Данная работа посвящена исследованию влияния адсорбции паров  $\text{H}_2\text{O}$  на вольт-амперные характеристики (ВАХ) и частотную дисперсию емкости (ЧДЕ) барьеров Шоттки на основе  $a\text{-Si:H}$ .

Пленки  $a\text{-Si:H}$  и  $n$ -типа толщиной 0,8—1 мкм наносились на покрытые тонким слоем хрома подложки из ситалла при разложении моносилана в тлеющем ВЧ-разряде. Для формирования барьера сверху напылялся палладиевый электрод площадью

$7,25 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>. ВАХ измерялись электростатическим вольтметром В7-30 и записывались графопостроителем ЛКД4-003. Емкость при нулевом смещении измерялась мостовым методом полных проводимостей со световым трансформатором [3], а также методом фазового выделения адмитанса [4]. Положение уровня Ферми в объеме образца ( $E_F = 0,3$  эВ от края зоны проводимости) при величине температурного сдвига  $2 \cdot 10^{-4}$  эВ·К<sup>-1</sup> определялось по температурной зависимости проводимости. Пары воды (дистиллированной) перед напуском в ячейку дважды перегонялись в вакууме с целью дополнительной очистки. Все измерения проводились при температуре 293 К. Поверхность образцов гидратировалась при длительном (в течение суток) выдерживании их в насыщенных парах воды.

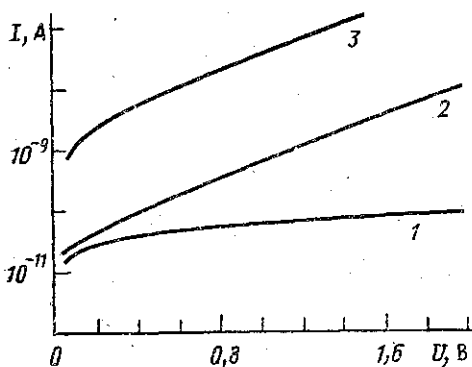


Рис. 1

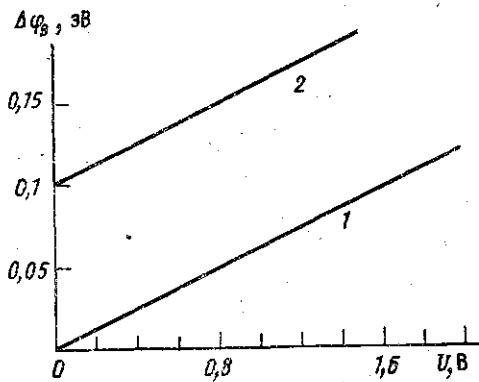


Рис. 2

Как показали результаты эксперимента, наиболее сильное воздействие пары воды оказывают на обратные ветви ВАХ барьера Шоттки. На рис. 1 представлена обратная ветвь ВАХ одного из типичных дегидратированных образцов (кривая 1). Дегидратация осуществлялась при прогреве в вакууме  $10^{-3}$  Па в течение 1 часа при  $T = 450$  К. Кривая 1 описывается уравнением  $I = I_0(\exp(-\alpha\sqrt{U}/kT) - 1)$ , типичным для эмиссии Шоттки ( $I_0 = SAT^2 \exp\{-\varphi_B/kT\}$  — ток насыщения,  $\varphi_B$  — высота барьера, остальные обозначения общеприняты). По температурной зависимости обратной ветви ВАХ можно легко оценить высоту барьера. Для всех измеренных дегидратированных образцов она оказалась равной  $\varphi_B = 0,9 \pm 0,05$  эВ. Малые напуски паров воды практически не оказывали влияния на ВАХ. При относительных давлениях выше  $p/p_s = 0,7$  влияние адсорбции паров воды становилось заметным (рис. 1, кривая 2). Поскольку в области малых напряжений величины обратных токов практически не отличаются от таковых для исходного дегидратированного образца, то можно сделать вывод, что адсорбированные молекулы воды непосредственно не влияют на высоту барьера. Не исключено, что наблюдаемое в эксперименте изменение высоты барьера вызвано поляризуемостью молекул воды. Последнее легко оценить, сравнивая эти ВАХ с ВАХ исходного образца. Из соотношения

$$\frac{I_1}{I_2} \Big|_{U=\text{const}} = \frac{SAT^2 \exp\{-\varphi_B/kT\} (\exp\{-\alpha\sqrt{U}/kT\} - 1)}{SAT^2 \exp\{-(\varphi_B + \Delta\varphi_B)/kT\} (\exp\{-\alpha\sqrt{U}/kT\} - 1)} = \exp\{-\Delta\varphi_B/kT\} \Rightarrow \Delta\varphi_B = kT \ln \frac{I_1}{I_2} \Big|_{U=\text{const}}, \quad (1)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — токи при заданном напряжении соответственно для дегидратированного образца и образца с адсорбированными молекулами воды. По формуле (1) были построены зависимости  $\Delta\varphi_B$  от внешнего напряжения (рис. 2) при адсорбции молекул воды (кривая 1) и гидратации поверхности (кривая 2). Видно, что они имеют строго линейную зависимость. Подобную зависимость теоретически можно получить, исходя из формулы Ланжевена. Действительно, при малых полях при условии  $pE \ll kT$  величина поляризационного заряда  $\sigma_p = (1/3)Np^2E/(kT)$  [5], где  $N$  — концентрация диполей (молекул  $H_2O$ ),  $p$  — величина дипольного момента  $H_2O$ . Так как размеры барьера много меньше его поверхности, то в первом приближении поле,

создаваемое поляризационными зарядами, можно считать однородным. В таком случае

$$\Delta\varphi_B = Ed = \frac{1}{3} \frac{Np^2E}{kT\epsilon\epsilon_0} \quad (2)$$

При  $p/p_s=0,7-0,8$  количество  $N$  адсорбированных молекул воды на реальной поверхности полупроводников составляет величину порядка  $10^{21}-10^{22} \text{ см}^{-3}$  [6]. Подставляя в формулу (2)  $N=10^{21}-10^{22} \text{ см}^{-3}$  и  $p_{H_2O}=6 \cdot 10^{-28} \text{ Кл} \cdot \text{см}$ , при  $U=1 \text{ В}$  имеем  $\Delta\varphi_B=(3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}) \text{ эВ}$ , что удовлетворительно согласуется с данными рис. 2.

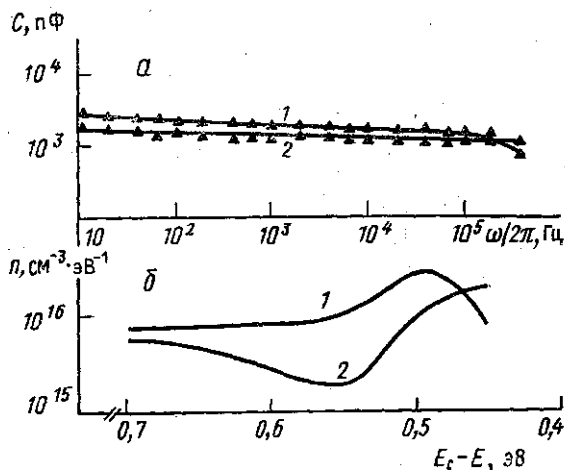


Рис. 3

На рис. 3, а приведена кривая 1 ЧДЕ дегидратированного образца. Адсорбция паров воды практически не влияла на ЧДЕ. Гидратация поверхности образцов несущественно изменяла вид кривых ЧДЕ (рис. 3, а, кривая 2). Кроме того, гидратация приводила к значительному возрастанию обратных токов (см. рис. 1, кривую 3) и снижению высоты барьера на 0,1 эВ (см. рис. 2, кривую 2). Используя метод расчета, изложенный в работе [7], мы вычислили из кривых ЧДЕ распределение плотности локализованных электронных состояний (рис. 3, б, 1). Видно, что гидратация поверхности снижает плотность и изменяет их распределение в запрещенной зоне (рис. 3, б, 2). Последнее, по всей видимости, обусловлено появлением гидроксильных групп, которые насыщают оборванные связи аморфного кремния, образующиеся в процессе разрушения связей Si—H при дегидратации. Однако их появление приводит также к снижению высоты барьера за счет поляризуемости связей Si—OH, а при длительной гидратации — к деградации барьера. Последнее необходимо учитывать в технологии изготовления солнечных батарей, обеспечивая их надежную защиту от воздействия паров воды.

Автор выражает глубокую благодарность В. Ф. Киселеву и С. Н. Козлову за ценные замечания по данной работе.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications/Ed. by V. L. Sharma. N. Y., 1984. P. 71. [2] Киселев В. Ф. Поверхностные явления в полупроводниках и диэлектриках. М., 1970. С. 311. [3] Нахмансон Р. С., Ерков В. Г./ДТЭ. 1973. № 3. С. 147. [4] Белотелов С. В., Суриц Р. А., Федоров В. Н./ДТЭ. 1978. № 1. С. 216. [5] Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., 1962. С. 199. [6] Киселев В. Ф., Крылов О. В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. М., 1978. С. 163. [7] Прудников Р. В./Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1989. 30, № 6. С. 87.

Поступила в редакцию  
15.05.90