

экспериментально при  $T=0,2\div 4,2$  К такая зависимость не наблюдалась.

Сравнение температурных и полевых зависимостей сопротивления указывает на связь появляющейся в магнитном поле суперлинейности ВАХ с активацией локализованных электронов. Совпадение ВАХ в больших электрических полях при 2К и 4,2 К подтверждает делокализацию в электрическом поле.

Отсутствие проявлений локализации электронов в магнитном поле на образцах со смешанным типом проводимости скорее всего обусловлено тем, что в них основной вклад в явления электропереноса в магнитном поле вносят тяжелые носители — дырки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ancker-Johnson B., Dick C. L. In: Physics of semimetals and narrow-gap semiconductors. Ed. D. L. Carter and R. T. Bate. N. Y.: Pergamon Press, 1971, p. 523. [2] Kobayashi A., Sankey O. F., Dow J. D. Phys. Rev. B, 1982, 25, p. 6367. [3] Schlicht B., Nimtz G. Lect. Notes Phys., 1982, 152, p. 383. [4] Алейников А. Б., Баранский П. И., Жидков А. В. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, с. 464. [5] Raymond A. et al. Lect. Notes Phys., 1982, 152, p. 387. [6] Арапов Ю. Г. и др. ФТП, 1983, 17, с. 1392. [7] Конуэлл Э. Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. М.: Мир, 1970. [8] Богданов Е. В., Брандт Н. Б., Флейшман Л. С. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1983, 24, № 6, с. 92. [9] Елизаров А. И., Иванов-Омский В. И., Корняш А. А., Петряков В. А. ФТП, 1984, 18, с. 201. [10] Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. ЖЭТФ, 1973, 64, с. 2222. [11] Шкловский Б. И. ФТП, 1983, 17, с. 2055.

Поступила в редакцию  
12.09.84

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 4

УДК 621.382.011.716

### МИГРАЦИЯ ИОНОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ДВУОКСИ КРЕМНИЯ ВО ВЛАЖНОЙ СРЕДЕ

Г. Б. Демидович, С. Н. Козлов, М. Славова (Болгария)

(кафедра общей физики для химического факультета)

Одной из основных причин деградации полупроводниковых приборов является миграция ионного заряда по поверхности диэлектрического слоя структуры полупроводник—диэлектрик. В немногочисленных работах, посвященных исследованиям миграции заряда по поверхности двуокиси кремния (как правило, термической), показано, что подвижность мигрирующих частиц сильно зависит от состава и строения поверхностного слоя окисла [1—3].

Целью настоящей работы было изучить возможность снижения миграционной нестабильности планарных полупроводниковых приборов путем использования пленок пиролитической двуокиси кремния  $\text{SiO}_2^{\text{д}}$  (в качестве как подзатворного диэлектрика, так и защитного покрытия).

**Методика эксперимента.** Для исследований использовались МДП-структуры, изготовленные на основе кремния с удельным сопротивлением 20 Ом·см. Топология структур показана на рис. 1. Параметры используемых в структурах диэлектриков приведены в таблице. Металлические электроды изготавливались из алюминия.

Поверхностная подвижность ионов измерялась по методике тестового канала [1, 3, 4]. Основная регистрируемая в этой методике вели-

чина — время  $\tau_0$ , протекшее от момента подачи напряжения  $V$  на электрод  $1$  (см. рис. 1) до момента открывания тестового инверсионного канала  $3-4$ ; оно измерялось с точностью  $\pm 0,5$  с. Ток тестового канала  $I$  определялся с точностью  $10^{-9}$  А.

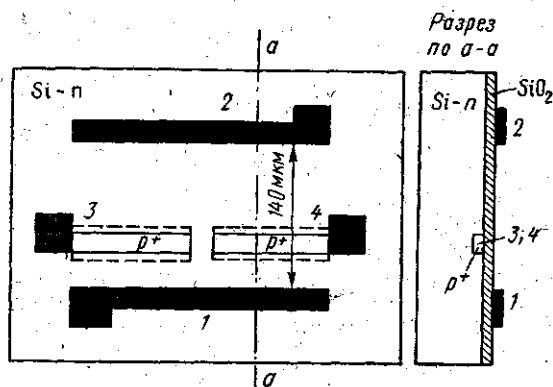


Рис. 1. Топология экспериментальных структур:  $1$  и  $2$  — алюминиевые электроды,  $3$  и  $4$  — исток и сток тестового канала. Пунктиром обозначена область стоп-диффузии.

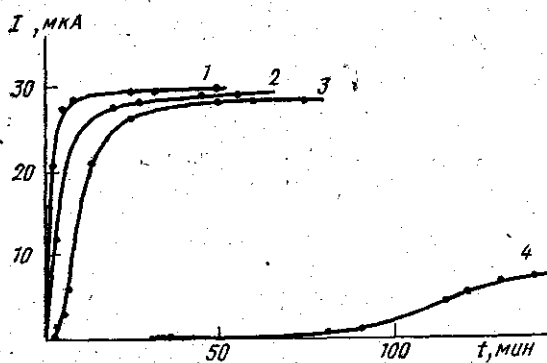


Рис. 2. Зависимость тока тестового канала  $I$  от времени при различных относительных влажностях:  $P/P_s=0,95$  ( $1$ );  $0,9$  ( $2$ );  $0,8$  ( $3$ ) и  $0,6$  ( $4$ )

После установки в ячейки образцы вакуумировались ( $P=10^{-3}$  Па) в течение двух часов при температуре  $300$  К. С целью повышения надежности и воспроизводимости результатов процедура измерений была:

Тип структуры	Тип проводимости подложки	Температура пиролиза, К	Толщина защитного $\text{SiO}_2$ , мкм
1	$n$	1170	0
2	$n$	1170	0,3
3	$p$	970	0
4	$p$	1170	0

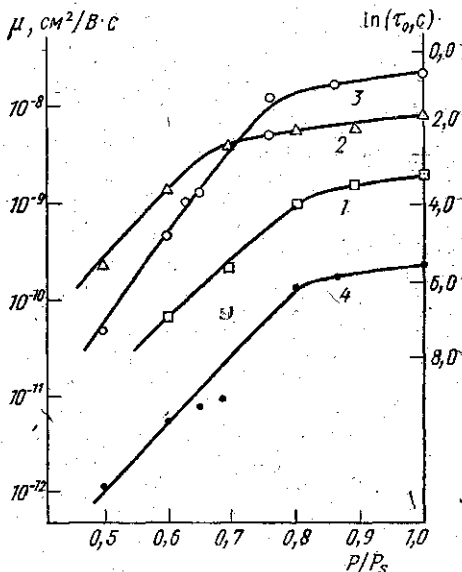
Толщина подзатворного  $\text{SiO}_2$  составляет  $0,7$  мкм.

стандартизована: сначала образец вакуумировался ( $P=1$  Па) в течение  $5$  мин, затем выдерживался  $5$  мин в насыщенных парах воды, после чего в ячейке создавалось заданное давление паров воды (относительная влажность в пределах  $P/P_s=0,5 \div 1$ ) и через  $5$  мин начинались измерения.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. На рис. 2 представлены типичные кинетические зависимости изменения тока  $I$  тестового

вого канала при различных относительных влажностях для структур типа 3 (см. таблицу). Качественно сходные кинетические зависимости  $I(t)$  наблюдались для структур всех четырех типов. При переходе в область низких относительных влажностей ( $P/P_s < 0,8$ ) время открывания тестового канала существенно возрастало и кинетика роста тока  $I(t)$  сильно замедлялась (см. кривую 4 на рис. 2). Зависимости  $\tau_0$  от относительной влажности для структур разных типов представлены на рис. 3. Для расчета соответствующих зависимостей поверхностной подвижности мигрирующих ионов от  $P/P_s$  нужно располагать также информацией о соотношении концентраций индуцированных внешним полем и исходных ионов (т. е. знать параметр  $D$  [3]). Специальные измерения, проведенные описанным в работе [3] «стационарным» методом, показали, что в условиях наших экспериментов всегда  $D \geq 5$  (т. е. концентрация индуцированных ионов значительно больше, чем исходных). В этой ситуации поверхностную подвижность ионов можно вычислять с помощью простого соотношения [3]

Рис. 3. Зависимость времени «задержки»  $\tau_0$  и поверхностной подвижности ионов  $\mu$  от относительной влажности  $P/P_s$ . Из-за различия в величинах  $V$  шкала  $\ln \tau_0$  для кривой 4 смещена вверх на  $\ln 6 \approx 1,8$  (см. (1)). Цифры на кривых соответствуют нумерации типов образцов в табл. 1



$$\mu = 0,35l_1^2 / (lV\tau_0). \quad (1)$$

Здесь  $l$  — расстояние между электродами 1 и 2 (см. рис. 1),  $l_1$  — расстояние между электродом 1 и тестовым каналом;  $V$  — подаваемое на электрод 1 напряжение (электрод 2 соединен с подложкой). Рассчитанная в соответствии с (1) шкала поверхностных подвижностей приведена на рис. 3 слева.

Как видно из рис. 3, характер зависимостей  $\mu(P/P_s)$  для структур 1 и 4, отличающихся только типом проводимости подложки, приблизительно одинаков.

Снижение температуры пиролиза с 1170 до 970 К приводило к значительному росту поверхностной подвижности ионного заряда (ср. кривые 3 и 4 на рис. 3). Учитывая резкую зависимость  $\mu$  от количества адсорбированных молекул воды, этот эффект можно объяснить более развитой микропористостью и, следовательно, более высокой степенью гидратации «низкотемпературного» окисла  $\text{SiO}_2^n$ .

Характерной особенностью приведенных зависимостей  $\mu(P/P_s)$  является довольно сильное изменение их наклона в области  $P/P_s = 0,7 \div 0,9$ . В этом же диапазоне относительных влажностей наблюдалось резкое замедление кинетики нарастания тока тестового канала (см. рис. 2, кривые 3, 4). Очевидно, эти закономерности обусловлены изменениями характера адсорбированного покрытия в указанном диапазоне  $P/P_s$ . Как известно [5], при невысоких влажностях адсорбированные молекулы воды образуют изолированные грозды; миграция заряда

по поверхности окисла ограничена в этих условиях главным образом процессами переноса протонов между гроздьями [6]. При увеличении влажности выше некоторого критического значения отдельные грозди сливаются и образуется сплошная (хотя и неоднородная по толщине) полимолекулярная пленка адсорбированной воды. Зависимость поверхностной подвижности ионов от влажности становится при этом более слабой.

Пиролитические пленки  $\text{SiO}_2$ , полученные при 970 К, по всей видимости, характеризуются более развитой микропористостью, чем слой  $\text{SiO}_2$ , синтезированные при 1170 К. Количество заполненных молекулами воды пор, по которым легко осуществляется перенос протонов, в таких пленках значительно больше. Поэтому поверхностная подвижность ионов для образцов типа 3 существенно выше, чем для структур 4 (см. рис. 3).

Неожиданным на первый взгляд эффектом является увеличение  $\mu$  после нанесения дополнительной защитной пленки  $\text{SiO}_2^{\text{п}}$  на поверхность МДП-структуры — ср. кривые 1 и 2 на рис. 3. По всей видимости, этот эффект также обусловлен сорбирующим действием дополнительного микропористого покрытия  $\text{SiO}_2^{\text{п}}$ . В результате перенос протонов вдоль поверхности структур типа 2 осуществляется в основном по внутренним, наиболее гидратированным, капиллярам защитной пленки  $\text{SiO}_2^{\text{п}}$ .

#### Выводы.

1. Исследование поверхностной подвижности ионов во влажных средах позволяет получать информацию о микропористости диэлектрической пленки.

2. Низкотемпературные пиролитические пленки  $\text{SiO}_2^{\text{п}}$ , благодаря их микропористой структуре, характеризуются повышенной поверхностной подвижностью ионов во влажных средах.

3. Использование в качестве защитных диэлектрических покрытий микропористых пиролитических пленок  $\text{SiO}_2^{\text{п}}$  может приводить к негативным последствиям — увеличению миграционной нестабильности МДП-структур. Необходимым условием обеспечения стабилизирующего воздействия дополнительных диэлектрических покрытий является снижение концентрации микропор в поверхностном слое диэлектрика.

В заключение авторы благодарят В. Ф. Киселева за полезные замечания и В. Ф. Синкевича за предоставление образцов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Schlegel E. S., Schnable G. L., Schwarz R. F. IEEE Trans., 1968, ED-15, N 12, p. 973. [2] Георгиев В. К., Димов В. И. Докл. Болгарской АН, 1972, 25, № 6, с. 743. [3] Венкстерн С. А., Козлов С. Н. Микроэлектроника, 1979, 8, № 3, с. 239. [4] Федорович Ю. В., Думиш Л. К. Микроэлектроника, 1973, 2, № 2, с. 159. [5] Киселев В. Ф., Крылов О. В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. М.: Наука, 1978, с. 185. [6] Курзаев А. Б., Козлов С. Н., Киселев В. Ф. ДАН СССР, 1976, 228, с. 877.

Поступила в редакцию  
17.12.84