

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНТАКТОВ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ НА АМОРФНОМ ГИДРИРОВАННОМ КРЕМНИИ

Стриха В. И., Ильченко В. В., Мездрогина М. М., Андреев А. А.

Исследованы механизмы переноса тока через барьер металл—аморфный гидрированный кремний. Обнаружено существование надбарьерного и генерационно-рекомбинационного механизмов. Показано, что технологические параметры получения пленок (температура подложки, скорость напыления) определяют механизм переноса тока. Исследования проводились с помощью анализа темновых ВАХ структур с барьером Шоттки, изготовленных на пленках аморфного гидрированного кремния.

В последние годы возрос интерес к исследованиям свойств контактов с барьером Шоттки (БШ) на основе аморфного гидрированного кремния. С одной стороны, это связано с определенными успехами в области технологии получения высококачественных аморфных пленок, использование которых для создания барьерных структур открывает новые возможности в микроэлектронике. С другой стороны, структуры с БШ являются удобными модельными объектами для изучения таких важных характеристик аморфного кремния, как положение уровня Ферми, определения плотности локализованных состояний в зазоре подвижности и т. д.

В настоящей работе были исследованы параметры контактов металл—аморфный гидрированный кремний— $a\text{-Si} : \text{H}$ при широком варьировании технологических параметров изготовления пленок.

Одним из основных методов получения пленок $a\text{-Si} : \text{H}$ является метод высокочастотного разложения газовых смесей, содержащих силан. Были выбраны технологические параметры получения пленок, обеспечивающие наиболее совершенную микроструктуру данного материала [1, 2]. Было показано, что неоднородности микроструктуры имеют характер «глобул», размеры которых зависят от технологических параметров, столбчатая структура в данных пленках отсутствует. При увеличении температуры подложки структура пленки все более напоминает однородную сетку атомов кремния, что соответствует данным, полученным в работе [3]. При этом перестройка в спектре плотности состояний ведет к уменьшению величины $N(\epsilon)$ вблизи середины зазора подвижности.

В работе исследовались темновые ВАХ контактов с БШ на основе $a\text{-Si} : \text{H}$, полученных при высокочастотном разложении смеси 25 % $\text{SiH}_4 + \text{He}$ при различных температурах подложки, которые варьировались от 220 до 380 °C, и скорости осаждения пленок, которая варьировалась от 10 до 1.5 Å/с. В качестве омических контактов использовали NiCr, Yb, которые напыляли термически на кварцевую подложку, предварительно очищенную с помощью ионной бомбардировки. В качестве выпрямляющих контактов использовали термически напыленные Pt-электроды.

Структуры, полученные в данной работе, отличались от полученных ранее более совершенными выпрямляющими свойствами: были снижены величины токов насыщения с 10^{-8} до 10^{-11} — 10^{-12} А, уменьшена величина параметра неидеальности, прямые ветви ВАХ этих контактов всегда имели экспоненциаль-

ную зависимость тока от напряжения начиная с $V \sim kT/e$. Величина наклонов ВАХ в полулогарифмическом масштабе для этих структур увеличивалась с ростом температуры подложки, на которую производилось напыление пленок $a\text{-Si} : \text{H}$. Наибольший коэффициент $\alpha = d \ln i_{np} / dV$ наблюдался на образцах, полученных при температуре подложки, равной 380°C . При уменьшении температуры подложки происходит уменьшение параметра α , а его наименьшее значение соответствует $T = 220^\circ\text{C}$. На рис. 1 представлены темновые ВАХ исследуемых структур. Как видно из рисунка, на ВАХ отсутствуют участки с линейной зависимостью тока от напряжения при небольших положительных смещениях ($0.1\text{--}0.2\text{ В}$), наблюдававшихся ранее [4]. Обнаруженную в данной работе зависимость параметра α от температуры подложки при осаждении пленки $a\text{-Si} : \text{H}$ можно связать с изменениями структурной сетки: микроструктура пленок при данной температуре 380°C наиболее однородна. Результаты расчетов генерационно-рекомбинационного (ГР) тока в контакте металл— $a\text{-Si} : \text{H}$,

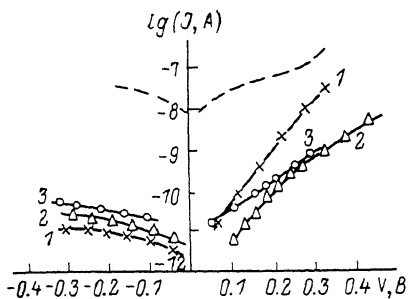


Рис. 1. Темновые ВАХ структур с барьером Шоттки на основе $a\text{-Si} : \text{H}$, полученных при различных температурах осаждения.

$T, ^\circ\text{C}$: 1 — 380, 2 — 320, 3 — 220.

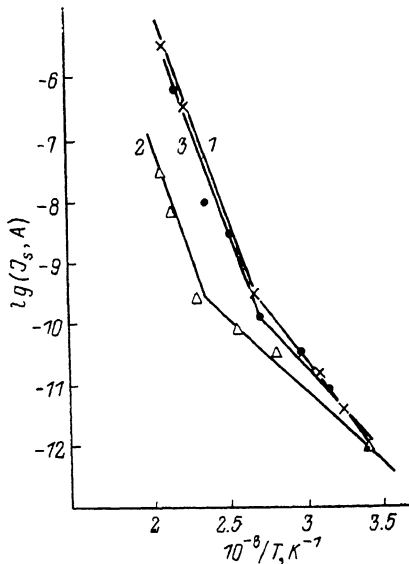


Рис. 2. Зависимость логарифма тока насыщения диодов от обратной температуры для структур, полученных при различных температурах осаждения.

$T, ^\circ\text{C}$: 1 — 380, 2 — 320, 3 — 220.

выполненных в работе [5] в предположении экспоненциального распределения плотности локализованных состояний, хорошо описывают экспериментально наблюдаемое увеличение наклонов ВАХ в полулогарифмическом масштабе при комнатной температуре для контактов, полученных при более высокой температуре напыления. Уменьшение плотности состояний в зазоре подвижности $a\text{-Si} : \text{H}$ приконтактной области ведет к увеличению параметра α по закону, близкому к $\alpha = (e/kT) (\beta_1 kT + 1)$, где β_1 — показатель экспоненты в распределении плотности состояний, что качественно согласуется с приведенными в данной работе экспериментальными данными. Увеличение параметра α является косвенным подтверждением генерационно-рекомбинационного механизма переноса тока в исследуемых структурах. С целью проверки этого вывода проводились исследования температурных зависимостей ВАХ.

На рис. 2 приведены зависимости логарифма токов насыщения диодов, полученных экстраполяцией прямых ветвей ВАХ до пересечения с осью ординат, от обратной температуры, откуда по величине тангенса угла наклона кривых определялись энергии активации проводимости приконтактной области в различных температурных интервалах. Для интервала температур от комнатной до 330 К величина энергии активации проводимости соответствовала положению уровня Ферми в объеме $a\text{-Si} : \text{H}$ и составляла $0.45\text{--}0.65\text{ эВ}$. Как показывают результаты теоретического рассмотрения ГР тока, проведенного в работах [5, 6], этот механизм переноса тока является единственным, для которого величина энергии активации проводимости приконтактной области может совпадать с объемной. Таким образом, при комнатных температурах в исследуемых структурах преобладает генерационно-рекомбинационный механизм переноса тока.

При более высоких температурах ($T \approx 350$ К) в зависимости $\lg J_c$ от $1/T$ наблюдался излом (рис. 2). Величина энергии активации проводимости при $T \approx 400-450$ К составляла 1.3 эВ, что соответствовало высоте потенциального барьера на границе металл— a -Si : H, отсчитанной от уровня Ферми в металле, определенной независимыми методами [7]. Этот факт свидетельствует о том, что при высоких температурах природа тока через контакт становится иной: реализуется надбарьерный механизм переноса тока. Экспериментально полученные зависимости наклонов ВАХ в полулогарифмическом масштабе от температуры, представленные на рис. 3, а, хорошо описываются соотношением типа $\alpha = (e/kT) - (\beta_1/2)$ в интервале температур от 350 до 400 К. Эти соотношения получены в работе [5] для надбарьерного механизма переноса тока, что подтверждает справедливость сделанного предположения.

На основании данного соотношения оценены значения показателя β_1 в распределении плотности локализованных состояний, которые для пленок, осажденных при $T=380$,

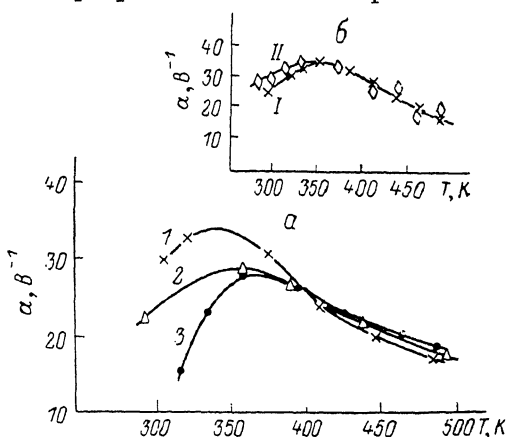


Рис. 3.

а) зависимость наклонов прямой ветви ВАХ в полулогарифмическом масштабе от температуры для контактов, полученных при различных температурах осаждения. T , °С: 1 — 380, 2 — 320, 3 — 220. б) зависимость параметра α от температуры для контактов, полученных при различной скорости осаждения, А/с: I — 1,5, II — 6.

320, 220 °С, составили соответственно 15, 14, 10—12 эВ⁻¹. Следует отметить, что увеличение показателя β_1 для пленок, полученных при более высоких температурах подложки, свидетельствует об уменьшении плотности локализованных состояний в зазоре подвижности вблизи «хвостов» зон, что согласуется с выводами о наличии более совершенной структуры данных пленок. Существование экстремума в зависимости α от T (рис. 2) объясняется различиями в величине α для генерационно-рекомбинационного и надбарьерного механизмов переноса тока.

Следует отметить, что уменьшение скорости роста пленок a -Si : H не отражалось на величинах наклонов ВАХ в полулогарифмическом масштабе при высоких температурах и соответственно на изменении величины β_1 . Таким образом, изменение температуры подложки при осаждении пленок a -Si : H является более действенным технологическим параметром, определяющим форму спектра вблизи хвостов плотности состояний, что также согласуется с выводами, сделанными в работе [3]. На рис. 3, б представлены ВАХ пленок a -Si : H, полученных при различных скоростях осаждения.

Результатом данной работы является вывод о том, что при широком варьировании технологических параметров осаждения пленок a -Si : H получены контакты металл—аморфный гидрированный кремний, обладающие хорошими выпрямляющими свойствами.

Л и т е р а т у р а

- [1] Ilchenko V. V., Komirenko R. P., Strikha V. I. — In: *Electrodynamics and quantum phenomena in interfaces*. Telavi, 1984, p. 330.
- [2] Мездрогина М. М., Голикова О. А., Кудоярова В. Х., Сорокина К. Л., Казанин М. М. Оптимальные условия получения пленок a -Si : H, пригодных для создания структур с барьером Шоттки. — В кн.: Тр. VI Всес. конф. по процессам роста полупроводниковых кристаллов и пленок. Новосибирск, 1986, т. 2, с. 177—179.
- [3] *The Physics of hydrogenated amorphous silicon*, v. I. Structure, preparation and devices / Ed by I. D. Jannopoulos, G. Lucovsky. Berlin, 1984. 287 p.
- [4] Андреев А. А., Голикова О. А., Карагеоргий-Алкалаев П. М., Лейдерман А. Ю., Мездрогина М. М., Рубин В. С., Феоктистов Н. А. О природе темновых токов в структурах с барьером Шоттки на аморфном гидрированном кремнии. — ФТП, 1984, т. 18, в. 2, с. 373—376.

- [5] Ильченко В. В., Левандовский В. Г., Стриха В. И. Теоретический анализ генерационно-рекомбинационного механизма переноса в контакте металл—аморфный кремний. — УФЖ, 1987, т. 32, в. 8, с. 290—294.
- [6] Leiderman A. Yu. — Phys. St. Sol. A, 1985, v. 87, N 1, p. 363—371.
- [7] Андреев А. А., Бублик И. В., Кильчицкая С. С., Комиренко Р. П., Саченко А. В., Стриха В. И., Феоктистов Н. А. Исследование фотоэлектрических характеристик диодов Шоттки на основе аморфного гидрированного кремния. — Поверхность, Физика, химия, механика, 1984, № 8, с. 64—67.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получена 24.03.1987
Принята к печати 21.08.1987