

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 539.293:537

ВЛИЯНИЕ АДсорбЦИИ ВОДЫ НА ИМПЕДАНС СИСТЕМЫ
КРЕМНИЙ–ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ–МЕТАЛЛ

С. Н. Козлов, А. Н. Невзоров, А. А. Петров

(кафедра общей физики и молекулярной электроники)

Изучено влияние адсорбции воды на проводимость и емкость структур кремний–пористый кремний–металл в диапазоне частот 10^2 – $2 \cdot 10^3$ Гц. Показано, что чувствительность исследованных структур к адсорбционному воздействию по импедансу максимальна в области частот от нескольких сотен герц до 1 кГц.

В последние несколько лет пористый кремний (ПК) привлекает значительное внимание исследователей во всем мире в основном в связи с перспективами создания на его базе оптоэлектронных устройств (см. обзоры [1, 2]). В то же время огромная удельная поверхность этого материала, а также возможность в широких пределах варьировать его фрактальную структуру и размеры микропор создают хорошие предпосылки для использования ПК в химической сенсорике. Некоторые обнадеживающие достижения в этом направлении уже имеются (см., напр., [3, 4]), однако возможности этой системы раскрыты пока далеко не полностью. В частности, недостаточно изучено влияние адсорбционных воздействий на частотную зависимость импеданса структур, содержащих слой ПК. Настоящая работа имела целью выяснить, сколь сильно изменение импеданса системы при адсорбции зависит от частоты измерительного сигнала и существует ли оптимальная для данного адсорбата частота, на которой целесообразно регистрировать «адсорбционный отклик» системы по импедансу.

Структуры Si–ПК–металл изготавливались на базе *p*-Si с удельным сопротивлением 12 Ом·см. Слой ПК толщиной 7 мкм и пористостью около 70% формировались на поверхности Si (100) путем анодирования в смеси 48% раствора HF с 96% этиловым спиртом (1:1) при плотности тока $20 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$. После этого структуры дополнительно окислялись в кислороде для стабилизации и гидрофилизации поверхности пористого слоя. Газопроницаемые металлические контакты к слою ПК площадью 1 mm^2 создавались путем термического распыления сначала никрома (толщина слоя 5 нм), а затем серебра (3 мкм). Измерение импеданса структур проводилось с помощью моста переменного тока в диапазоне частот от 100 Гц до 200 кГц. В качестве модельного адсорбата в наших экспериментах использовалась вода. Эксперименты выполнены при температуре 300 К.

На рис. 1 показаны типичные зависимости проводимости (а) и емкости (б) структур кремний–ПК–металл от частоты измерительного сигнала в исходном

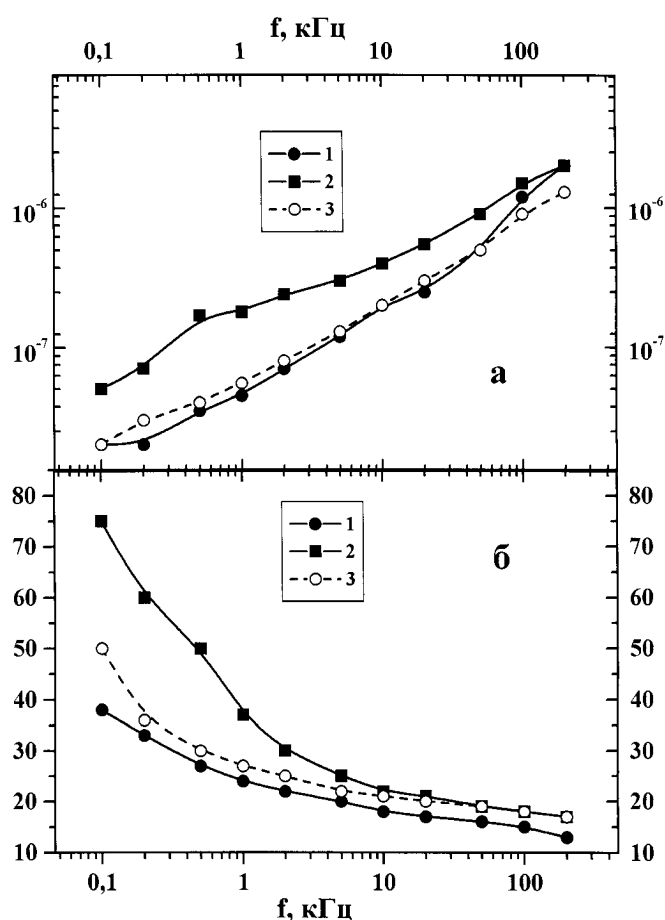


Рис. 1. Частотные зависимости проводимости (а) и емкости (б) структуры Si–ПК–металл в исходном состоянии (1), после термовакуумной обработки (2) и после выдерживания в насыщенных парах воды (3)

состоянии, после термовакуумной обработки (ТВО) при температуре 450 К и давлении 10^{-5} мм рт. ст. в течение двух часов, а также после выдерживания в насыщенных парах воды (несколько минут). Видно, что в результате ТВО проводимость и емкость структуры растут, причем наиболее сильно в области низких частот. После взаимодействия структуры

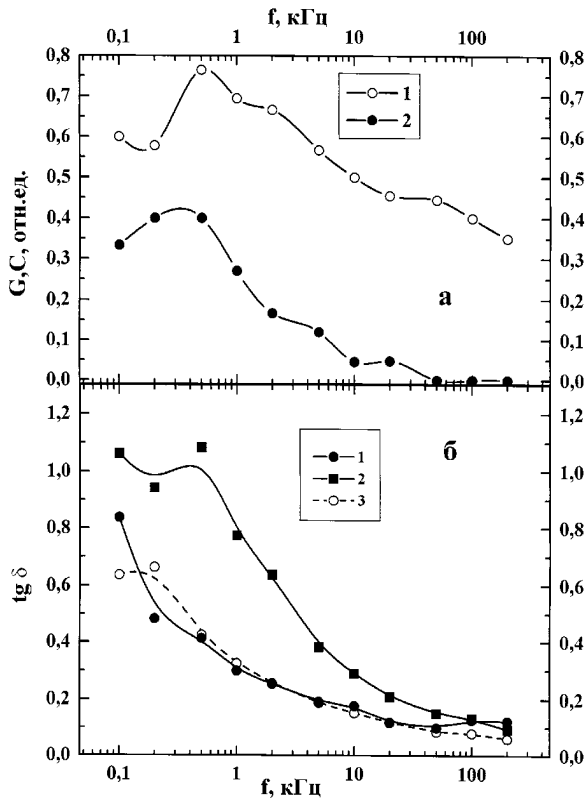


Рис. 2. Относительные изменения проводимости (1) и емкости (2) структуры Si–ПК–металл на разных частотах в результате воздействия насыщенных паров воды (а) и зависимость тангенса угла потерь этой структуры от частоты (б) в вакууме (1), после ТВО (2) и в насыщенных парах воды (3)

с насыщенными парами воды зависимости $G(\omega)$ и $C(\omega)$ постепенно возвращаются к исходному виду. Очевидно, в процессе ТВО с поверхности кремниевых «нитей» ПК удаляются прочносвязанные молекулы воды, являющиеся основой медленных электронных состояний донорного типа [5]; в результате заряд поверхности «нитей» сдвигается в отрицательную сторону и «сердцевина» этих нитей обогащается основными носителями заряда (дырками), т.е. происходит «молекулярное легирование» слоя ПК [6]. При этом растет не только проводимость, но и емкость структуры Si–ПК–металл, так как увеличивается количество проводящих кремниевых «нитей» и соответственно возрастает эффективная площадь контактов на границах раздела Si–ПК и ПК–металл. Адсорбция молекул воды в слое ПК приводит к обратному эффекту. Изменения емкости и проводимости структуры наиболее заметны в области

низких частот, поскольку при более высоких частотах значительную роль играет прыжковый перенос по поверхности кремниевых «проволок» [7], который, видимо, меньше подвержен влиянию адсорбции, чем квазиобъемный электронный транспорт.

Максимальная относительная чувствительность исследуемых структур к адсорбции паров воды как по проводимости, так и по емкости, достигалась в области частот от нескольких сотен герц до 1 кГц (см. рис. 2,а). Видимо, существование «оптимальной» частоты измерений адсорбционного отклика системы Si–ПК–металл по импедансу обусловлено тем, что адсорбция может оказывать влияние сразу на несколько факторов, определяющих условия зарядового транспорта по структуре: квазиобъемный перенос по «сердцевине» кремниевых нитей, прыжковый транспорт по их поверхности, а также темп прохождения потенциальных барьеров на границах раздела Si–ПК и ПК–металл. Частотные зависимости соответствующих эффектов могут быть разными, и именно их комбинация определяет немонотонный характер зависимостей $\Delta C/C(\omega)$ и $\Delta G/G(\omega)$. В заключение отметим, что наши экспериментальные данные (см. рис. 2,б) не подтверждают интригующий вывод авторов работы [8] о существовании максимумов диэлектрических потерь в области частот 1–10 кГц, связанных со спецификой диэлектрической релаксации жидких адсорбатов в микропорах ПК.

Литература

1. Cullis A.G., Canham L.T., Calcott P.D.J. // J. Appl. Phys. 1997. 2. P. 909.
2. Kanemitsu Y. // Phys. Reports. 1995. 263. P. 1.
3. Демидович Г.Б., Добренкова Е.И., Козлов С.Н. // Письма в ЖТФ. 1992. 18. С. 57.
4. O'Halloran G.M., Kuhl M., Trimp P.J. // Sensors and Actuators. 1997. A61. P. 415.
5. Киселев В.Ф., Крылов О.В. Электронные явления в адсорбции и катализе на полупроводниках и диэлектриках. М., 1979. Гл. 2.
6. Демидович В.М., Демидович Г.Б., Козлов С.Н. и др. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1996. №4. С. 99.
7. Ben-Chorin M., Moller F., Koch F. // Phys. Rev. 1995. B51. P. 2199.
8. Motohashi A., Kawakami M., Aoyagi H. et. al. // Japan. J. Appl. Phys. 1995. 34. P. 5840.

Поступила в редакцию
01.07.98