

УДК 544.723:621.315.59:534.21

Влияние образования оксида кремния на знак, величину и формирование поверхностного заряда при адсорбции воды на поверхности кремния

В. Л. Громашевский, Н. П. Татьянаенко, Б. А. Снопок

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАН Украины
просп. Науки, 41, Киев 03028, Украина. E-mail: snopok@isp.kiev.ua

С использованием поперечного акустоэлектрического эффекта в слоистой структуре пьезодиэлектрик/воздушный зазор/полупроводник установлено, что адсорбция паров воды на поверхности Si (100) проходит с образованием заряженной формы адсорбционного комплекса. Знак локализованного поверхностного заряда определяется образованием оксида кремния и изменяется от положительного до отрицательного при переходе от поверхности кристаллического кремния (100) до покрытой оксидом. При этом наблюдается возникновение дискретных состояний поверхностного заряда.

Ключевые слова: адсорбция, поверхностный заряд, вода, кремний, поперечный акустоэлектрический эффект.

Тенденция к уменьшению избыточной поверхностной энергии в системах, где твердое тело находится в контакте с газом, проявляется главным образом в удерживании на поверхности частиц чужеродного вещества, т. е. в адсорбции. Несмотря на кажущуюся простоту процесса образования пограничного слоя, многие аспекты этой поверхностной реакции так и остаются неясными до сегодняшнего дня. Так, например, в случае, когда процесс адсорбции протекает с изменением заряда поверхности, анализ необходимо проводить на основе электронных представлений, первостепенную важность которых отмечал еще Л. В. Писаржевский столет назад [1]. Сложность экспериментальных исследований таких гетерогенных химических реакций обусловлена как принципиальными физическими ограничениями, так и техническими проблемами при реализации соответствующих методов анализа. Прежде всего, поскольку при достижении определенной плотности поверхностных зарядов индуцированные ими напряженности электрического поля тормозят дальнейшее образование заряженных адсорбционных комплексов, покрытие поверхности заряженной формой не превышает одного процента ее площади. Вследствие этого предельная концентрация заряда на поверхности твердых тел при адсорбции ограничена пределом Вейца [2] и составляет около 10^{13} см⁻². Необходимость же бесконтактного мониторинга поверхностного заряда обуслов-

ливает ограничения экспериментальных методов, особенно в случае таких адсорбатов, как вода, которая обладает, с одной стороны, малым размером молекулы, амфотерностью, способностью к поверхностной диссоциации, значительным дипольным моментом, большой диэлектрической проницаемостью, а с другой — присутствует практически повсеместно, по крайней мере в следовых количествах. Это и предопределяет неослабевающий интерес к строению и свойствам пограничных структур воды и представляет несомненный интерес для физической химии поверхности, катализа, дисперсных систем, практических вопросов регулирования смачивания, адгезии, реструктуризации, пассивации поверхности, в частности полупроводниковых материалов. Так, например, особенности протекания процессов адсорбции воды на поверхности Si (100) представляют значительный практический интерес в связи с их технологической важностью для производства интегральных схем по КМОП-технологии (комплементарная структура металл — оксид — полупроводник) [3]. Однако роль как общепризнанной модели формирования слоя оксида кремния в этих условиях, так и процессов заряжения поверхности в них остается неясной во многих аспектах и до сегодняшнего дня. Как известно, при формировании поверхности в плоскости Si (100) оказываются оборванными две из четырех связей атома кремния, что приводит к повышенной реакционной способности и

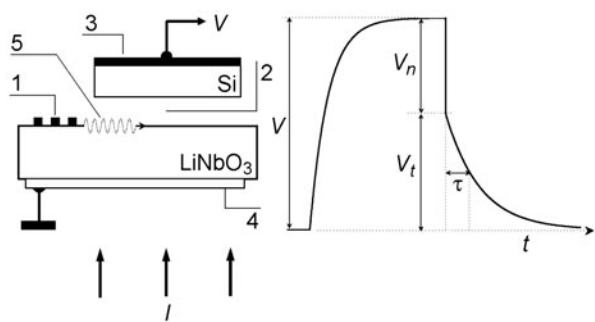


Рис. 1. Схема структуры пьезодиэлектрик — полупроводник с воздушным зазором (ASWAG) и параметры сигнала ПАЭ (V): 1 — встречно-штыревой преобразователь (ВШП); 2 — воздушный зазор; 3 — металлический электрод; 4 — полупрозрачный электрод из SnO_2 ; 5 — импульс ПАВ. I — освещение светодиодом типа RGB; V , V_t , V_n — амплитуды ПАЭ, ловушечной и концентрационной компонент ПАЭ соответственно; τ — время полуспада ловушечной компоненты ПАЭ. При подаче на ВШП прямоугольного высокочастотного импульса, приводящего к возбуждению ПАВ, поперек структуры $\text{Si} - \text{LiNbO}_3$ регистрируется сигнал ПАЭ, форма и характерные параметры которого показаны справа. Анализ формы сигнала ПАЭ (величины и соотношения компонент V , V_t , V_n) позволяет непосредственно оценить изгиб зон и его изменения относительно величины поверхностного заряда полупроводника [5, 6].

формированию слоя оксида кремния сложного состава. В этой связи представляется естественным интерес как научных работников, так и инженеров к процессам, ответственным за перераспределение электронной плотности в приповерхностной области полупроводниковых материалов вследствие формирования заряженных адсорбционных слоев [4]. Подробному рассмотрению этих вопросов и посвящена настоящая работа.

Для изучения строения и свойств адсорбционных слоев на твердой поверхности традиционно применяют несколько групп методов. Прежде всего это структурные (дифракционные или микроскопические) и поверхностные (оптическая спектроскопия НПВО, микровзвешивание и т. п.) методы, однако они не позволяют получить информацию об изменении зарядового состояния поверхности в процессе адсорбции. В настоящей работе использован разработанный нами подход, позволяющий бесконтактный мониторинг заряда на поверхности полупроводника с использованием поперечного акустоэлектрического эффекта (ПАЭ) в слоистой структуре пьезодиэлектрик — полупроводник с воздушным зазором (acoustoelectronic structures with an air gap, ASWAG (рис. 1)). Как показано нами в работах [5, 6], при формировании на поверхности локализованного

поверхностного заряда свободные носители в приповерхностной области полупроводника перераспределяются таким образом, чтобы нейтрализовать этот заряд посредством изменения профиля области пространственного заряда (ОПЗ). Проникающее в область полупроводника электромагнитное поле неоднородной поверхностной акустической волны (ПАВ), распространяющейся в пьезоэлектрической подложке (рис. 1), вызывает смещение свободных носителей заряда, индуцируя соответствующие им синфазные изменения потенциала на поверхности полупроводника (ПАЭ). Таким образом, вариации поверхностного заряда вызывают соответствующие изменения параметров динамической релаксации свободных носителей на внешнее поле ПАВ, которые имеют непосредственное отражение в характеристиках ПАЭ. Величина ПАЭ определяется комбинацией поверхностных зарядов биографического происхождения (формирующих начальный приповерхностный изгиб энергетических зон полупроводника) и адсорбционных комплексов. Корректное использование данного подхода предполагает, что внешние влияния (адсорбция, освещение и т. п.) не изменяют существенно (<10 %) начальный приповерхностный изгиб энергетических зон полупроводника, и зависимость ПАЭ от величины поверхностного заряда близка к линейной [5, 6].

В настоящей работе для измерения ПАЭ поверхностная акустическая волна возбуждалась в z -направлении пьезоэлектрической подложки $yz - \text{LiNbO}_3$ с помощью встречно-штыревого преобразователя на частоте 37 МГц длительностью 1,5 мс и апертурой 1,8 мм (рис. 1) [5, 6]. Зазор между полупроводником и пьезодиэлектриком обеспечивался системой опор высотой 200 нм, вытравленных ионным пучком непосредственно на поверхности подложки из ниобата лития [5]. В качестве полупроводника использовали образцы размером $5 \times 1,5 \times 0,3 \text{ мм}^3$ с удельным сопротивлением $\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ проводимости p -типа, вырезанные из стандартных пластин кремния $\text{Si} (100)$ со слоем оксида кремния, полученного термическим способом при высокой температуре (термический оксид, TO , high temperature oxide layer). Для указанного на рис. 1 способа регистрации информативного сигнала величина ПАЭ была отрицательна (p -тип); анализ соотношения ловушечной и концентрационной компонент ПАЭ показал [5, 6], что граница раздела находится в режиме слабого обеднения, обусловленного зарядом биографических состояний поверхности. Для проведения адсорбционных экспериментов насыщенные пары дистиллированной воды получали посредством пропускания воздуха через емкость с водой (барботирование) с постоянной

Зависимости амплитуды ПАЭ в процессе адсорбции воды на поверхность *p*-Si (100) со снятым слоем термического оксида кремния от времени хранения в лабораторных условиях (LCC — локализованные носители заряда (localized charge carriers)); I — образование адсорбционного комплекса; II — формирование заряженных мобильных частиц кислорода и рост естественного оксида кремния; III — адсорбция молекул воды на поверхности гидрогенизированного кремния; IV, V — адсорбция молекул воды на гидроксильной поверхности оксида кремния; VI — диффузия молекул воды внутрь пористой структуры оксида кремния, сопровождающаяся процессами IV и V)

Этап роста оксида	Типичная кинетика адсорбции воды	Обобщенная схема процессов
Кристаллическая поверхность кремния (100), менее 100 ч после травления (приведена кинетика по прошествии 15 ч после травления)		
Стадия формирования реального оксида (приведена кинетика по прошествии 720 ч после травления)		
Сформированный реальный оксид, более 1500 ч (приведена кинетика по прошествии 1680 ч после травления)		

скоростью 0,3 л/мин (компрессор «Atman CR-20R») при постоянной температуре (20 ± 2 °C).

Ранее нами было показано [5, 6], что при адсорбции воды на поверхности Si, имевшей термический оксид, наблюдается формирование положительного поверхностного заряда, тогда как для случая естественного (собственного) оксида кремния (естественный оксид, EO, native oxide) наблюдались различные варианты зарядки. Это указывает на то,

что формирование заряженных граничных структур воды оказывается высокочувствительным к малым отличиям топографии и реакционной способности адсорбента. С целью выяснения характера такой зависимости в настоящей работе ТО стравливался в растворе HF(70 %) : H₂O = 1 : 20 объемных частей в течение 30 с до кристаллической поверхности кремния, образцы трижды промывали в дистиллированной воде, высушивали в потоке азота и выдер-

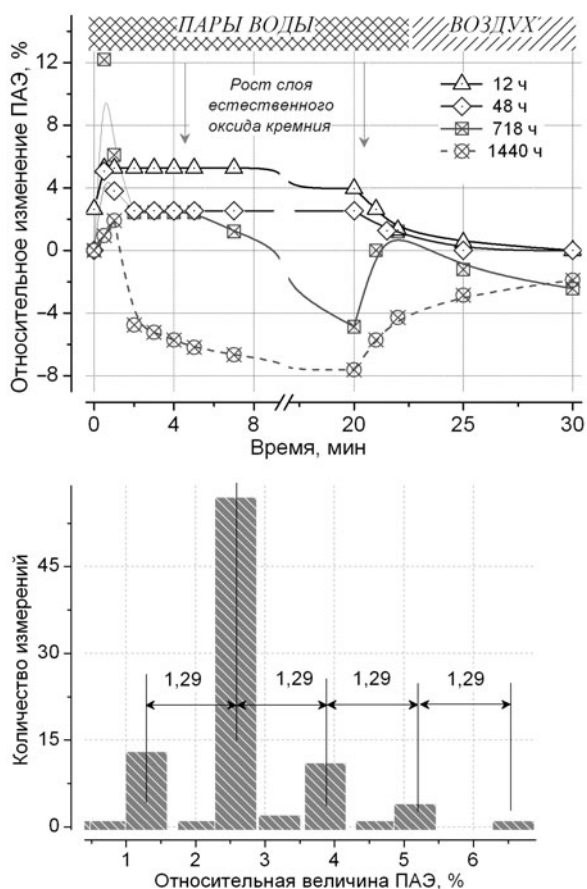


Рис. 2. Зависимость относительной величины изменений амплитуды ПАЭ в процессе адсорбции воды для образца *p*-Si (100) со снятым слоем термического оксида кремния от времени нахождения образца в условиях ограниченного доступа воздуха (*a*) и количество регистраций откликов ПАЭ с определенной величиной сигнала для циклов вода/воздух в разные промежутки времени в течение первых трех суток после травления (*b*).

живали в сухой атмосфере в течение 15 ч до проведения первых экспериментов с целью минимизации влияния локальных дефектов, обусловленных химическим травлением. Образование ЕО за время, прошедшее после травления полупроводника, можно пренебречь, принимая во внимание скорость его роста в лабораторных условиях [2].

Типичные зависимости $V(t)$ при экспозиции ASWAG-структуры в парах воды приведены в таблице. Как видно из таблицы, при временах менее 100 ч начальная стадия формирования адсорбционного слоя на кристаллической поверхности кремния представляет собой быстрый рост положительного заряда поверхности с последующей его частичной компенсацией до уровня, соответствующего половине максимального отклика. При этом эффект компенсации накапливается при последо-

вательных экспозициях (таблица, рис. 2, *a*), приводя к закономерному уменьшению первоначального экстремума ПАЭ в последующих циклах, что свидетельствует о взаимосвязи процессов заряжения и компенсации. Накопление и необратимость процесса компенсации в серии последовательных циклов свидетельствует о том, что первоначальный всплеск заряжения может быть связан с протеканием химических реакций, в частности гидроксирования координационно-ненасыщенных атомов кремния. Этот процесс возможен только в случае диссоциативного характера адсорбции воды на поверхности кристаллического кремния. Это предположение хорошо согласуется с многочисленными теоретическими расчетами, свидетельствующими о диссоциативной адсорбции воды на поверхности Si (100) [7]. В результате взаимодействия адсорбционных комплексов с поверхностными координационно-ненасыщенными атомами кремния поверхность модифицируется группами $=\text{Si}-(\text{OH})_x\text{H}_y$, наблюдаемыми экспериментально [8].

Во избежание ошибочного толкования необходимо отметить, что заряжение поверхности в данном случае предполагает приповерхностную локализацию свободных носителей заряда полупроводника; при локализации свободного электрона/дырки используют термины «акцепторной»/«донорной» формы адсорбции соответственно [9]. Поскольку поверхностный заряд компенсирован ОПЗ, то и электрическое поле, и градиент потенциала этой системы зарядов захватывают ОПЗ, изменяя приповерхностный изгиб энергетических зон полупроводника. Вместе с непосредственным захватом носителей заряда адсорбированной частицей определенные пространственные конфигурации поверхностных диполей также могут как формировать центры локализации носителей заряда, так и влиять на заселенность биографических состояний вследствие сдвига энергетических уровней дефектных состояний поверхности [9]. Если же частичный перенос/перераспределение заряда на границе раздела не приводит к локализации свободных носителей, величина ПАЭ не изменяется.

С учетом сказанного выше можно предположить, что диссоциативная адсорбция воды на начальном этапе приводит к формированию большого числа адсорбционных комплексов ($^*\text{OH}^-$), локализующих дырки из объема полупроводника (процесс I, таблица). Вследствие ряда химических превращений происходит как гидроксирование ненасыщенных атомов кремния, так и формирование активных форм поверхностно-связанного молекулярного O_2^- и более подвижного атомарного кислорода O^- [10]. В последнем случае образование мобильной ион-радикальной

частицы кислорода сопровождается выделением электрона, последующая рекомбинация которого с локализованной дыркой уменьшает ПАЭ и инициирует рост реального оксида (процесс II, таблица). Таким образом, эффект компенсации — переход в нейтральную форму изначально заряженных комплексов — обусловлен ростом ЕО (гидроксильрованием, формированием мостиков $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ и т. п.), который, как хорошо известно, эффективно протекает именно в присутствии воды [1—3].

Поскольку изменения ПАЭ отражают эволюцию поверхностного заряда, достижение стационарного состояния при адсорбции предполагает, что как электронная (захват/освобождение носителей), так и молекулярная (адсорбция/десорбция) составляющие находятся в динамическом равновесии, т. е. потоки свободных носителей заряда и молекул воды к поверхности и от нее одинаковы. Поскольку согласно пределу Вейца [4] именно нейтральная форма преимущественно присутствует на границе раздела, а адсорбированные в заряженных комплексах частицы прочно связаны с поверхностью, равновесие с газовой фазой поддерживается исключительно частицами в нейтральной форме. Таким образом, можно полагать, что равновесный избыточный заряд положительного знака при адсорбции воды на кристаллической поверхности кремния обусловлен формированием некоторых устойчивых конфигураций недиссоциированных молекул воды в плоскости подложки. Последнее предположение хорошо согласуется с особенностями кинетики десорбции воды при подаче воздуха — эффект конкуренции компонент с принципиально различными временами релаксации не наблюдается, т. е. процессы делокализации носителей заряда и десорбция частиц происходят одновременно. Уход с поверхности заряженной формы хорошо описывается моноэкспоненциальной зависимостью (таблица), что свидетельствует о наличии одного доминирующего типа слабосвязанного адсорбционного комплекса в системе, обуславливающего равновесный поверхностный заряд при адсорбции воды на кристаллической поверхности Si (100) [11, 12]. Возможным типом такого центра может быть комплекс координационно-связанной атомом кремния молекулы воды или воды, связанной водородной связью с атомом водорода гидrogenизированного кремния (преобладающими на поверхности свежетравленного полупроводника, процесс III, таблица).

Рассмотренная выше картина процессов хорошо согласуется с современными представлениями о структуре переходного слоя воды на поверхностях разной природы — от металлов и полупроводников до биологических структур. Согласно современным

представлениям [13, 14] структура переходного слоя формируется из трех слоев воды: первый слой представляет собой гибридную структуру нейтральной и заряженной формы. Структура второго граничного слоя определяется тем, как согласована объемная структура воды с расположением и числом заряженных центров на поверхности; для последующих слоев энергия взаимодействия молекул воды между собой больше, чем их связь с подложкой. Устойчивость конфигураций заряда первого слоя воды на поверхности обусловлена экранированием заряженных центров нейтральными молекулами воды с высокой диэлектрической постоянной и самосогласованием электрических полей отдельных зарядов в плоскости подложки. Наличие определенной пространственной организации в граничных слоях воды на поверхности кристаллического кремния подтверждается статистическим анализом величин откликов ПАЭ, полученных в первые несколько суток после травления, когда формирование оксида мало сказывается на протекании поверхностных процессов (рис. 2, б). Как показано на рис. 2, б, на поверхности кристаллического кремния наблюдается дискретный набор зарядовых состояний поверхности, наиболее вероятные значения которого разделены одинаковым интервалом (кратным 1,29 % величины ПАЭ). Наличие преобладающих конфигураций поверхностных зарядов адсорбата обусловлено, вероятно, симметрией поверхности кремния с детерминированным пространственным распределением активных центров и его пространственным согласованием с возможными конфигурациями тетраэдрической сетки водородных связей второго и последующих слоев воды (в случае полимолекулярной адсорбции в насыщенных парах воды).

С течением времени происходит постепенное формирование ЕО, обладающего открытой пространственно-разветвленной структурой с высокой проницаемостью и большим электрическим сопротивлением. Это приводит к линейному росту амплитуды ПАЭ на воздухе с течением времени (190/400/530 мВ при 15/720/1440 ч, $\sim 0,25$ мВ/ч), одной из вероятных причин которого является увеличение поверхностного сопротивления ASWAG-структуры. Рост аморфной фазы оксида кремния повышает неоднородность поверхности, изменяет ее реакционную способность и обуславливает характер заряжения границы раздела в процессе адсорбции воды. Так, например, уже через месяц хранения пластин в лабораторных условиях без доступа влаги кинетика адсорбции существенно изменяется. Наблюдаемый аналогичный рассмотренному выше рост положительного заряда на начальном этапе адсорбции воды сменяется не заряженной, а

нейтральной формой, что обусловлено преобладанием слоя ЕО (процесс II, таблица) инициированного образованием и диффузией внутрь ЕО кислорода (процесс VI, таблица). Согласно [15] процесс формирования ЕО сопровождается перемещением катионов кремния от подложки к поверхности и анионов кислорода в обратном направлении; процесс роста собственного оксида кремния прекращается при толщинах около 10 нм, когда свободные носители из полупроводника уже не могут участвовать в протекании поверхностных реакций. Вероятность диссоциативной адсорбции воды при этом снижается вследствие уменьшения числа атомов кремния с ненасыщенными связями и покрытия поверхности слоем ЕО. В результате для образцов с временем хранения более 2 мес наблюдается значительное уменьшение величины ПАЭ при адсорбции воды. В этом случае процесс изменения поверхностного заряда обусловлен либо формированием поверхностных комплексов акцепторного типа с захватом электронов полупроводника, либо эквивалентным ему уменьшением заряда биографических состояний вследствие индуцированной адсорбцией изменения заселенности биографических состояний на поверхности (освобождения части дырок из областей локализации). В качестве центров адсорбции, способных локализовать свободные электроны полупроводника, могут выступать комплексы воды с сильно гидроксильрованной поверхностью оксида кремния, связанные водородной связью через кислород гидроксильных групп ЕО. Уменьшение ПАЭ может быть также вызвано частичным экранированием полупроводника от электромагнитного поля ПАВ слоем ЕО с заполненными водой порами. Медленное нарастание и спад кинетики ПАЭ в этом случае хорошо описываются функцией растянутой экспоненты (*stretched exponential function*) с корневой зависимостью от времени (процесс VI, таблица), что свидетельствует о лимитирующей стадии диффузии (вероятно, молекул воды в ЕО) в генерации ПАЭ [11, 12]. Кинетика адсорбции воды на образцах, время хранения которых находится в промежутке между рассмотренными случаями, обусловлена комбинацией процессов, протекающих на поверхности кристаллического кремния и ЕО, в зависимости от их доступности на поверхности (таблица). Таким образом, в зависимости от степени формирования естественного оксида кремния заряженная форма адсорбции воды на поверхности кремния изменяется от донорной (положительный адсорбционный заряд) до акцепторной (положительный заряд поверхности уменьшается при адсорбции). При этом наблюдаемая на свежетравленной поверхности кратность величин

откликов нивелируется с течением времени, вероятно, вследствие потери структурной упорядоченности монокристаллического кремния при формировании аморфного слоя ЕО (рис. 2, б). На поверхности ЕО эффекты первичной перезарядки и компенсации (обусловленные диссоциативной адсорбцией воды) при формировании пограничного слоя воды практически не наблюдаются и рост адсорбата определяется преимущественно образованием водородных связей с гидроксильными группами на поверхности ЕО. Возможность формирования таких комплексов в объеме пористого ЕО с аморфной внутренней структурой приводит к значительно большему (~40 мВ) изменению заряда при адсорбции воды на поверхности ЕО по сравнению с таковой на кристаллическом кремнии (~10 мВ) (рис. 2, а).

Совокупность проведенных исследований с использованием нового экспериментального подхода позволила установить, что адсорбция воды на поверхности кремния проходит с образованием заряженной формы адсорбционного комплекса. Знак локализованного поверхностного заряда определяется наличием и стадией формирования естественного оксида кремния и изменяется от положительного до отрицательного при переходе от кристаллической до покрытой собственным оксидом поверхности Si (100). При этом на кристаллической поверхности наблюдаются дискретные состояния поверхностного заряда, обусловленные формированием его устойчивых конфигураций определенной симметрии. Полученные результаты представляются принципиально важными не только с точки зрения выяснения механизма адсорбции воды, но и для решения практических задач целенаправленного управления поверхностными реакциями с участием воды в таких быстро развивающихся областях современной науки и техники, как сенсорная техника, промышленный катализ, микро- и нанoeлектроника. Представленное в работе обсуждение демонстрирует потенциальные возможности нового экспериментального подхода для мониторинга поверхностных процессов, протекающих с изменением заряда, и обуславливает его перспективность для решения как фундаментальных, так и прикладных задач физической химии гетерогенных процессов на границе раздела фаз.

Работа выполнена при поддержке проекта № 1.3.4/5 «Державна цільова науково-технічна програма розроблення і створення сенсорних наукоємних продуктів на 2008—2017 роки».

Литература

1. Писаржевский Л. В. Избранные труды. — К. : Изд-во АН УССР, 1936.
2. Weiz P. B. // J. Chem. Phys. — 1953. — 21. — P. 1531—1538.
3. Ваштаров Ю. А., Смытына В. А. Адсорбционная чувствительность полупроводников. — Одесса : Астропринт, 2005.
4. Мясников И. Я., Сухарев В. Я., Куприянов Л. Ю., Завьялов С. А. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях. — М. : Наука, 1991.
5. Tatyanyenko N. P., Gromashevskii V. L., Snopok B. A. // Sensor Lett. — 2010. — 8. — P. 554—563.
6. Громашевский В. Л., Татьянаенко Н. П., Снопок Б. А. // Физика и техника полупроводников. — 2013. — 47. — С. 563—569.
7. Mahadevan T. S., Garofalini S. H. // J. Phys. Chem. C. — 2008. — 112. — P. 1507—1515.
8. Zangwill A. Physics at surfaces. — Cambridge : Cambridge univ. press, 1988.
9. Волькенштейн Ф. Ф. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. — М. : Наука, 1987.
10. Кировская И. А. Катализ. Полупроводниковые катализаторы. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2004.
11. Snopok B. A., Kruglenko I. V. // Sensors and Actuators B. — 2005. — 106. — P. 101—113.
12. Снопок Б. А. // Теорет. и эксперим. химия. — 2014. — 50, № 2. — С. 69—93. — [Theor. Exp. Chem. — 2014. — 50, N 2. — P. 67—95 (Engl. Transl.)].
13. Asay D. B., Kim S. H. // J. Phys. Chem. B. — 2005. — 109. — P. 16760—16763.
14. Сайко Д. С., Ганжа В. В., Титов С. А. и др. // Журн. техн. физики. — 2009. — 79. — С. 86—91.
15. Morita M., Ohmi T., Hasegawa E. et al. // J. Appl. Phys. — 1990. — 68. — P. 1272.

Поступила в редакцию 15 апреля 2015 г.

Вплив утворення оксиду кремнію на знак, величину і формування поверхневого заряду при адсорбції води на поверхні кремнію

V. L. Gromashevskii, M. P. Tatyanyenko, B. A. Snopok

Інститут фізики напівпровідників НАН України ім. В. Є. Лашкарьова
просп. Науки, 41, Київ 03028, Україна. E-mail: snopok@isp.kiev.ua

З використанням поперечного акустоелектричного ефекту в шаруватій структурі п'єзодіелектрик/повітряний зазор/напівпровідник встановлено, що адсорбція парів води на поверхні Si (100) відбувається з утворенням зарядженої форми адсорбційного комплексу. Знак локалізованого поверхневого заряду визначається утворенням оксиду кремнію і змінюється від позитивного до негативного при переході від поверхні кристалічного кремнію (100) до вкритої оксидом. При цьому спостерігається виникнення дискретних станів поверхневого заряду.

Ключові слова: адсорбція, поверхневий заряд, вода, кремній, поперечний акустоелектричний ефект.

Influence of Silicon Oxide Formation on the Sign, Magnitude, and the Appearance of Surface Charge upon Water Adsorption on the Silicon Surface

V. L. Gromashevskii, N. P. Tatyanyenko, B. A. Snopok

V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine
Prosp. Nauky, 41, Kyiv 03028, Ukraine. E-mail: snopok@isp.kiev.ua

Using a transverse acoustoelectric effect in a layered structure piezoelectric/air-gap/semiconductor reveals that adsorption of water vapor on the surface of Si (100) proceeds with the formation of the charged form of the adsorption complex. Sign of localized surface charge is determined by the appearance of silica and changes from positive to negative during the transition from the crystalline Si (100) surface to the surface coated by oxide. At the same time, the appearance of discrete states of the surface charge has been observed.

Key words: adsorption, surface charge, water, silicon, transverse acoustoelectric effect.