

# Электрическая пассивация поверхности кремния органическими монослоями 1-октадецена

© И.В. Антонова, Р.А. Соотс, В.А. Селезнев, В.Я. Принц

Институт физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук,  
630090 Новосибирск, Россия

(Получена 30 ноября 2006 г. Принята к печати 18 декабря 2006 г.)

Исследованы электрические свойства структур, состоящих из монослоя 1-октадецена, нанесенного на поверхность кремния, в зависимости от способа пассивации поверхности перед нанесением пленки (водородная и ионная пассивация) и интенсивности подсветки, активирующей реакцию присоединения молекул 1-октадецена к атомам кремния. Монослой 1-октадецена на поверхности кремния стабилен и обеспечивает химическую пассивацию поверхности. Обнаружено два типа ловушек (ловушки для дырок и для электронов), плотность которых можно варьировать при нанесении монослоя выбором интенсивности подсветки и способом пассивации поверхности. В случае низкого уровня подсветки и(или) использования йодной пассивации поверхности преобладают ловушки электронов, а в случае высокой интенсивности подсветки и(или) водородной пассивации поверхности — ловушки для дырок. Показана возможность использования данных пленок для обеспечения проводимости в тонких приповерхностных слоях кремния за счет создания режима плоских зон или аккумуляции носителей у поверхности.

PACS: 72.80.Le, 73.40.Qv, 81.40.Rs, 81.65.Rv

## 1. Введение

Развитие нанотехнологий придало особую актуальность поиску путей решения проблемы пассивации поверхности полупроводниковых материалов, которая бы позволила обеспечить химическую стабильность поверхности и электрическую проводимость тонких слоев. В качестве перспективного пассивирующего покрытия для кремния, германия и их соединений в последнее время рассматриваются органические монослои, и в частности монослои из класса алкенов ( $\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{n-3}\text{CH}_3$  с  $10 < n < 22$ ). Такие покрытия толщиной до 2–3 нм являются стабильными, не изменяют своих свойств на протяжении многих месяцев [1] и способны обеспечить химическую защиту поверхности не только от окисления, но и от воздействия кислот и щелочей [2]. Они также способны сохранять свои свойства до температур 250–350 °С [2,3]. Эти свойства монослоев алкенов делают их перспективными для наноструктурирования поверхности кремния с помощью зондовой нанолитографии [4] и для подзатворных диэлектриков [5]. Одним из наиболее популярных органических соединений данного класса является 1-октадецен ( $n = 18$ ) с толщиной монослоя  $\sim 2$  нм [6].

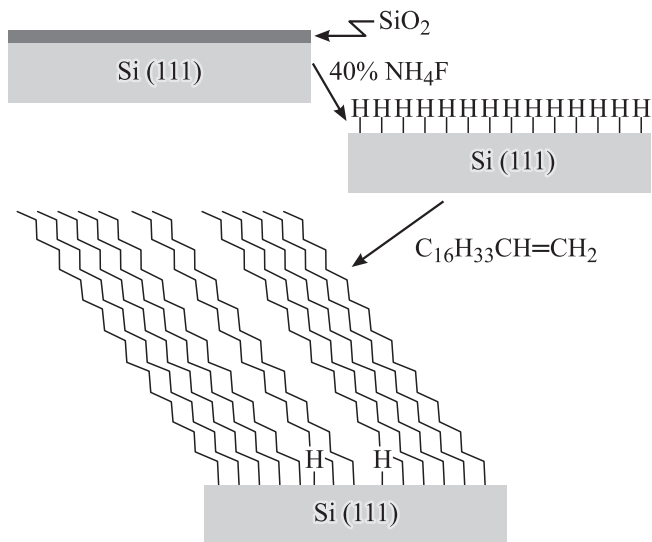
Нанесение органических монослоев включает в себя: а) предварительную очистку поверхности и удаление естественного окисла, б) пассивацию поверхности, как правило водородом, с) замещение водорода на молекулу алкена, стимулированное освещением в ультрафиолетовом диапазоне [2] или прогревом при температурах 100–180 °С [2]. Известен другой способ пассивации поверхности кремния — пассивация йодом, которая отличается большей стабильностью по сравнению с водородной пассивацией [5]. В работе [5] показана возможность использования йодной пассивации для подго-

товки поверхности при нанесении органических монослоев под действием света и продемонстрировано такое преимущество йодной пассивации, как формирование более плотного покрытия поверхности. Электрические свойства таких слоев в настоящее время не изучены.

В данной работе приведены результаты сравнения электрических свойств монослоя 1-октадецена на кремнии в зависимости от способа подготовки поверхности (йодная или водородная пассивация), ориентации и типа проводимости подложки.

## 2. Подготовка структур и методики измерений

Эксперименты были выполнены на пластинах кремния с ориентацией (100) и (111), *p*- и *n*-типами проводимости, и с концентрацией носителей заряда  $\sim 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Подготовительная обработка образцов включала очистку поверхности кремния, удаление естественного окисла в водном растворе плавиковой кислоты, химическое окисление поверхности путем кипячения в растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$  (рис. 1). Созданный окисел удалялся в 5% растворе плавиковой кислоты для образцов с ориентацией (100) и в 40% растворе  $\text{NH}_4\text{F}$  для ориентации (111), что приводило к водородной пассивации поверхности кремния. Йодная пассивация поверхности проводилась в растворе йода в бензоле. Для нанесения органического покрытия на поверхность пассивированные образцы помещались в 1-октадецен и в течение 2 ч освещались ультрафиолетовой лампой (длина волны 265 нм) мощностью 18 Вт. Интенсивность освещения варьировалась путем изменения расстояния между лампой и поверхностью образцов (низкая — 3, средняя — 6 и высокая интенсивность — 9 см). Под воздействием освещения происходил разрыв связи  $\text{C}=\text{C}$  в молекуле



**Рис. 1.** Последовательность операций нанесения монослоя 1-октадецена на поверхность кремниевой пластины для случая промежуточной водородной пассивации.

CH<sub>2</sub>=CH-(CH<sub>2</sub>)<sub>15</sub>CH<sub>3</sub> и Si-H(I) на поверхности кремния [1]. В результате происходило замещение водорода (йода) углеродом на связи с атомом кремния (рис. 1). По окончании процедуры нанесения 1-октадецена образцы промывались в изопропиловом спирте и высушивались.

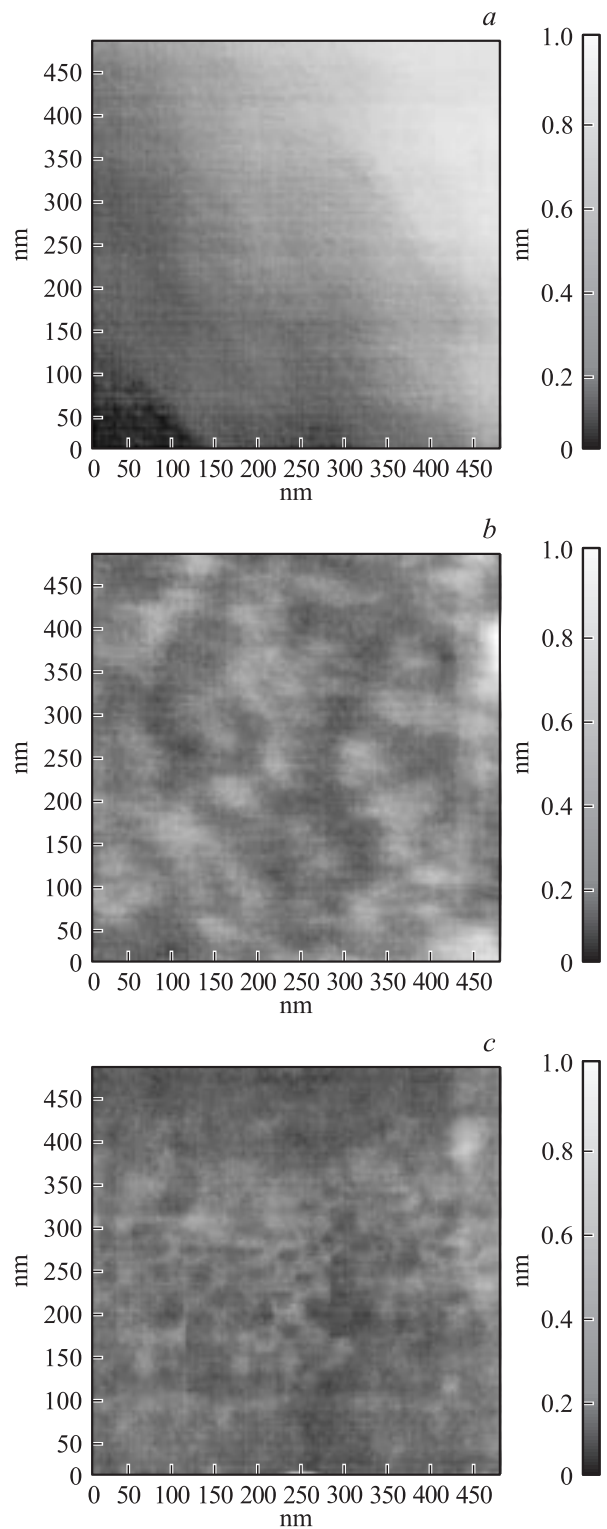
Исследование электрических свойств созданных структур проводилось путем измерения вольт-амперных ( $I-V$ ) и вольт-фарядных ( $C-V$ ) характеристик. Контакт к поверхности кремния, покрытой монослоем 1-октадецена, создавался с помощью ртутного зонда, а к подложке — с помощью InGa-пасты. Площадь ртутного зонда составляла  $2.3 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup> для  $C-V$ -измерений и  $4.5 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup> для  $I-V$ -измерений. При измерении  $C-V$ - и  $I-V$ -характеристик напряжение подавалось между ртутным зондом, приведенным в соприкосновение с поверхностью структуры, и подложкой. Контроль качества поверхности структуры с монослоем 1-октадецена проводился с помощью атомно-силовой микроскопии AFM (установка НТ-МДТ) в полуконтактном режиме.

Используя методы, разработанные для структур металл-диэлектрик-полупроводник, плотность ловушек в монослоем 1-октадецена определялась из  $C-V$ -характеристик с использованием напряжения, соответствующего максимальному изгибу зон,  $U_{mg}$ . Плотность зарядов на интерфейсных состояниях  $Q_{ss}$  вблизи середины запрещенной зоны кремния определялась как разность между плотностями, рассчитанными по напряжению  $U_{mg}$  и напряжению плоских зон  $U_{FB}$  [7].

### 3. Экспериментальные результаты

На рис. 2 приведены AFM-изображения поверхности исходного кремния и кремния с ориентацией (111) и нанесенным монослоем 1-октадецена на поверхность

для случаев пассивации водородом и йодом. Характерный рельеф поверхности кремния, покрытой монослоем 1-октадецена, составляет 0.2–0.4 нм. Масштаб рельефа

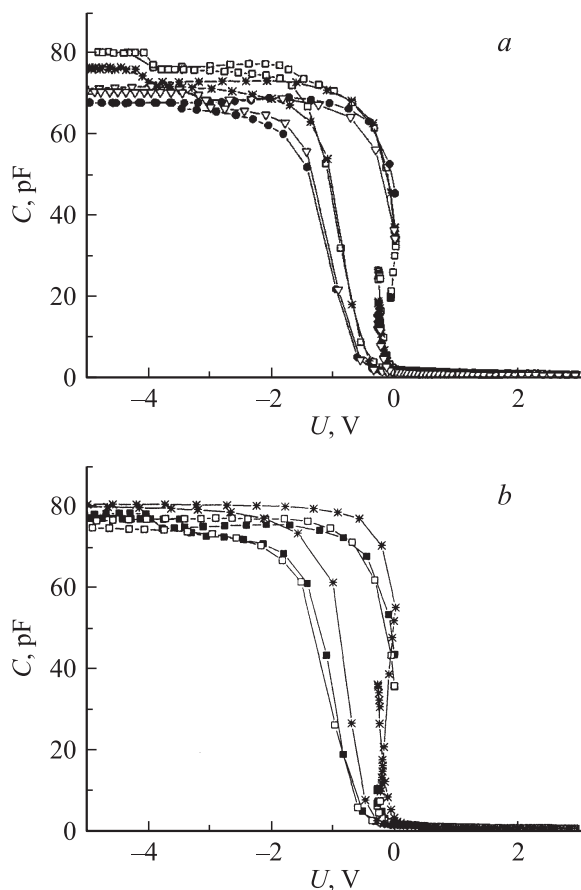


**Рис. 2.** AFM-изображения поверхности исходного Si с ориентацией (111) (a) и с нанесенным монослоем 1-октадецена на поверхности с промежуточной пассивацией водородом (b) и йодом (c).

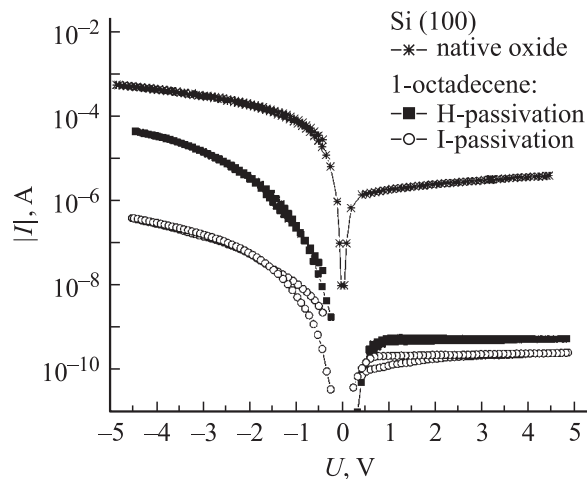
больше в случае водородной пассивации поверхности перед нанесением монослоя.

На рис. 3 представлены  $C-V$ -характеристики, измеренные в разных точках структур, созданных нанесением монослоя 1-октадецена в условиях ультрафиолетовой (УФ) подсветки для разных типов пассивации поверхности. Нужно отметить, что максимальное значение емкости, которое определяется толщиной монослоя 1-октадецена и его диэлектрической проницаемостью, имеет ббльший разброс по поверхности в случае использования водородной пассивации при нанесении покрытия. Кроме того, повторные последовательные измерения в одной и той же точке на образце также приводят к некоторому (до 10%) уменьшению значения максимальной емкости. В случае йодной пассивации максимальное значение емкости имеет меньший разброс по поверхности и практически не меняется при многократных измерениях.

$I-V$ -характеристики структур с монослоем 1-октадецена для разных типов пассивации поверхности при-



**Рис. 3.**  $C-V$ -характеристики для структур с ориентацией подложки (100) и  $p$ -типом проводимости, созданных нанесением монослоя 1-октадецена в условиях УФ подсветки для разных типов пассивации поверхности: *a* — водородная, *b* — йодная. Разные кривые на рисунке соответствуют разным точкам на образцах. Расстояние от лампы до образца составляло 6 см (средняя интенсивность).



**Рис. 4.**  $I-V$ -характеристики для структур с ориентацией подложки (100) и  $p$ -типом проводимости, созданных нанесением монослоя 1-октадецена в условиях УФ подсветки для разных типов пассивации поверхности и для сравнения структуры с естественным слоем окисла на поверхности. Расстояние от лампы до образца составляло 6 см.

ведены на рис. 4. Для сравнения на том же рисунке даны  $I-V$ -характеристики, измеренные на структуре с естественным слоем окисла на поверхности. Видно, что органическое покрытие уменьшает токи более чем на 3–4 порядка, в зависимости от вида пассивации поверхности по сравнению со слоем естественного окисла. В целом  $C-V$ - и  $I-V$ -характеристики структур с органическим покрытием, полученным с использованием йодной пассивации поверхности кремния, были более стабильными. Напряжение пробоя монослоя 1-октадецена при обратном смещении составило 8–15 В для структур, независимо от вида промежуточной пассивации поверхности.

Сравнение  $C-V$ - и  $I-V$ -характеристик структур с разным типом ориентации подложки демонстрирует (рис. 5):

- 1) ловушки в монослое 1-октадецена на кремнии с ориентацией (100) имеют более высокое сечение захвата носителей, результатом чего является гистерезис на  $C-V$ -характеристиках,
- 2) токи через слой 1-октадецена при прямой полярности приложенного напряжения выше для ориентации подложки (100), обратные токи выше для ориентации (111).

Было обнаружено, что изменение интенсивности УФ освещения заметно меняет свойства органического покрытия. В случае низкой интенсивности подсветки, как следует из  $C-V$ -характеристик (см. рис. 6, *a* и таблицу, плотность ловушек рассчитывалась по  $U_{mg}$ ), в пленку вводятся преимущественно ловушки для отрицательного заряда  $T_{-}$ , максимальная концентрация составляет  $1.4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ . При этом через пленку наблюдался относительно большой прямой ток (рис. 6, *b*). При высоком

Параметры ловушек в слое 1-октадецена, определенные из вольт-фарадных характеристик

Si	Тип пассивации	Интенсивность УФ излучения	$Q_{\text{initial}}/q, \text{см}^{-2}$	Ловушки	$Q_{\text{max}}/q, \text{см}^{-2}$	$\sigma, \text{см}^2$	$Q_{\text{ss}}/q, \text{см}^{-2}$	$U_{\text{FB}}, \text{В}$
(100) <i>p</i> -Si	Н	средняя	$-2 \cdot 10^{10} \div 2 \cdot 10^{11}$	T <sub>-</sub>	$-3 \cdot 10^{11}$	$\sim 5 \cdot 10^{-18}$	$10^{11}$	$0.01 \div -0.10$
				T <sub>+</sub>	$1.2 \cdot 10^{12}$	$\sim 5 \cdot 10^{-18}$		
	I	низкая	$-4 \cdot 10^{10} \div -10^{11}$	T <sub>-</sub>	$-5 \cdot 10^{11}$	$9 \cdot 10^{-19}$	$2 \cdot 10^{11}$	$0.02 \div 0.05$
				T <sub>+</sub>	$5 \cdot 10^{11}$	$10^{-20}$		
(111) <i>p</i> -Si	Н	средняя	$5 \cdot 10^{10}$	T <sub>-</sub>	—	—	$5 \cdot 10^{10}$	-0.05
				T <sub>+</sub>	$3 \cdot 10^{11}$	$\sim 3 \cdot 10^{-18}$		
	I	низкая	$-10^{12}$	T <sub>-</sub>	$-1.2 \cdot 10^{12}$	$< 10^{-20}$	$2 \cdot 10^{11}$	0.50
				T <sub>+</sub>	$7 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{-20}$		
I	средняя	$-10^{11}$	T <sub>-</sub>	$-2 \cdot 10^{11}$	$\sim 4 \cdot 10^{-18}$	$3 \cdot 10^{11}$	0.14	
			T <sub>+</sub>	$1.2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{-19}$			
(100) <i>n</i> -Si	I	средняя	$-1.2 \cdot 10^{12} \div -1.4 \cdot 10^{12}$	T <sub>-</sub>	$-1.0 \cdot 10^{12}$	$> 5 \cdot 10^{-18}$	$1.5 \cdot 10^{11}$	$0.35 \div 0.40$
				T <sub>+</sub>	$9 \cdot 10^{11}$	$> 5 \cdot 10^{-18}$		
	I	высокая	$10^{10} \div 6 \cdot 10^{11}$	T <sub>-</sub>	—	—	$2 \cdot 10^{11}$	$-0.01 \div -0.25$
				T <sub>+</sub>	$1.4 \cdot 10^{12}$	$> 5 \cdot 10^{-18}$		
(111) <i>n</i> -Si	I	средняя	$1.5 \cdot 10^{12} \div 6.5 \cdot 10^{11}$	T <sub>-</sub>	$-1.7 \cdot 10^{11}$	$> 5 \cdot 10^{-18}$	$2 \cdot 10^{11}$	$-0.44 \div -0.19$
				T <sub>+</sub>	$3 \cdot 10^{12}$	$10^{-18}$		

Примечание.  $Q_{\text{initial}}$  — исходная плотность заряда, определенная по  $V_{\text{mg}}$  (интервалы значений указаны в случае наблюдения гистерезиса и соответствуют разным направлениям развертки напряжения),  $Q_{\text{max}}$  — максимальное значение заряда, наблюдаемое после выдержки структуры под напряжением,  $Q_{\text{ss}}$  — плотность поверхностных состояний,  $\sigma$  — сечение захвата носителей заряда на уровень,  $U_{\text{FB}}$  — напряжение плоских зон.

уровне подсветки в монослое 1-октадецена преобладают ловушки положительного заряда T<sub>+</sub> с максимальной концентрацией  $3.0 \cdot 10^{12} \text{см}^{-2}$  (см. таблицу). В случае промежуточной интенсивности подсветки наблюдаются одновременно ловушки T<sub>-</sub> и T<sub>+</sub>. Таким образом, увеличение интенсивности подсветки приводило к уменьшению прямого тока через монослой и росту обратного тока. В таблице представлены плотности ловушек T<sub>-</sub> и T<sub>+</sub> и интерфейсных состояний  $Q_{\text{ss}}$  для разных режимов нанесения монослоя и разных пластин кремния.

Для определения такого параметра ловушек, как сечение захвата носителей заряда  $\sigma$ , структуры выдерживались под напряжением +8 или -8 В в течение 1–30 мин, и затем по сдвигу  $C-V$ -характеристик (рис. 7, а) определялось изменение концентрации ловушек в монослое  $\Delta Q$ , которое в зависимости от заряда, инжектированного в пленку  $Q_{\text{inj}} = qIt$  ( $I$  — ток через образец,  $t$  — время выдержки под напряжением) может быть описано выражением [8]

$$\Delta Q = Q_{\text{max}} [1 - \exp(-\sigma Q_{\text{inj}})], \quad (1)$$

где  $Q_{\text{max}}$  — максимальное значение заряда в слое 1-октадецена. На рис. 7, б представлена экспериментальная зависимость  $\Delta Q(Q_{\text{inj}})$  для одного из исследованных образцов и приведена кривая, соответствующая выражению (1). Результаты определения сечений захвата носителей на ловушки и максимальные плотности ловушек после выдержки структуры под напряжением представлены в таблице. Как следует из таблицы, величина  $\sigma$  для

ловушек, формируемых при ориентации кремния (100), больше, чем при ориентации кремния (111), что согласуется с появлением гистерезиса на  $C-V$ -характеристиках.

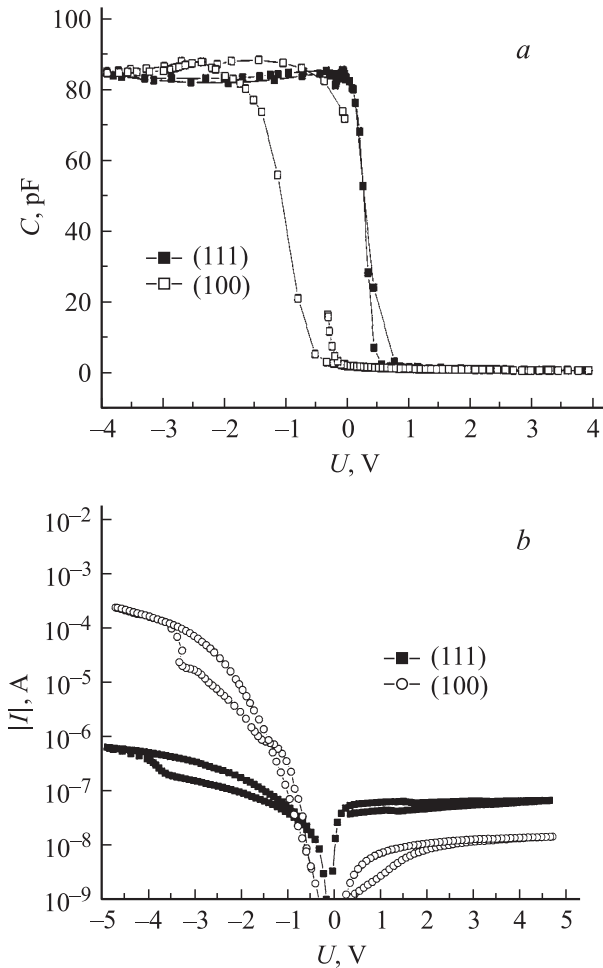
Нанесение монослоя 1-октадецена на *n*-Si с концентрацией носителей около  $10^{15} \text{см}^{-3}$  приводит к более высоким значениям заряда в монослое (см. таблицу) и к более высоким сечениям захвата на ловушки.

Напряжения плоских зон  $U_{\text{FB}}$ , определенные из  $C-V$ -характеристик для структур, полученных с использованием разных режимов нанесения, представлены в таблице. Для *p*-Si с ориентацией (100) и в случае низкой или средней интенсивности подсветки при нанесении монослоя 1-октадецена значения  $U_{\text{FB}}$  невелики и лежат в пределах  $-0.1 \div +0.1$  В. Для *n*-Si с той же ориентацией наблюдаются более высокие значения  $|U_{\text{FB}}| \approx 0.4$  эВ, причем преобладание ловушек для отрицательного заряда приводит к режиму обеднения у поверхности. Более высокая плотность ловушек в случае кремния с ориентацией (111) и(или) в случае высокой интенсивности подсветки при нанесении монослоя приводит к большему изгибу зон у поверхности, причем в зависимости от типа проводимости и типа преобладающих ловушек можно получить как режим обогащения у поверхности, так и режим обеднения.

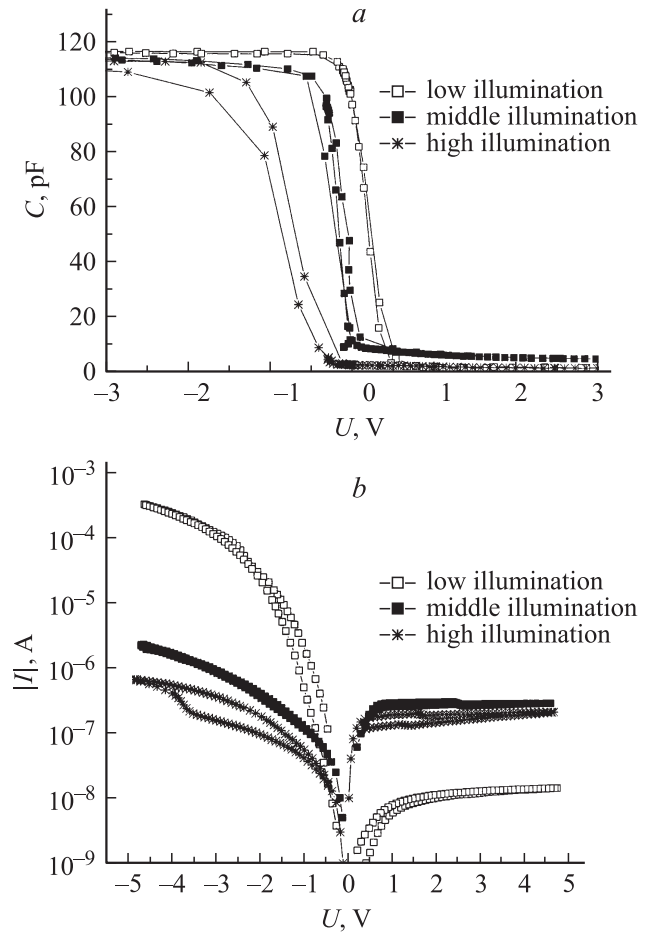
Важно также отметить стабильность параметров монослоя 1-октадецена. Периодические повторные измерения параметров монослоя показали их высокую воспроизводимость по крайней мере в течение 6 месяцев.

#### 4. Обсуждение результатов исследований

Площадь сечения молекулы 1-октадецена составляет  $18.6 \text{ \AA}^2$  [9], размер ячейки, связанной с одним кремниевым атомом на поверхности (111), —  $12.77 \text{ \AA}^2$ , а на поверхности (100) —  $14.75 \text{ \AA}^2$ . Очевидно, что молекулы 1-октадецена не могут образовать связи со всеми атомами поверхности. В работах [9,10] с помощью моделирования было показано, что только 53% атомов кремния на поверхности (111) и 61% на поверхности (100) могут провзаимодействовать с молекулами 1-октадецена. А на оставшихся связях Si–H (в случае использования водородной пассивации) происходит постепенное подкисление поверхности и соответственно замена водорода на атомы кислорода [6]. Основываясь на меньших величинах тока, протекающего через монослой на поверхности кремния с ориентацией (111) (рис. 5), можно утверждать, что нанесение монослоя 1-октадецена на Si с разной ориентацией поверхности



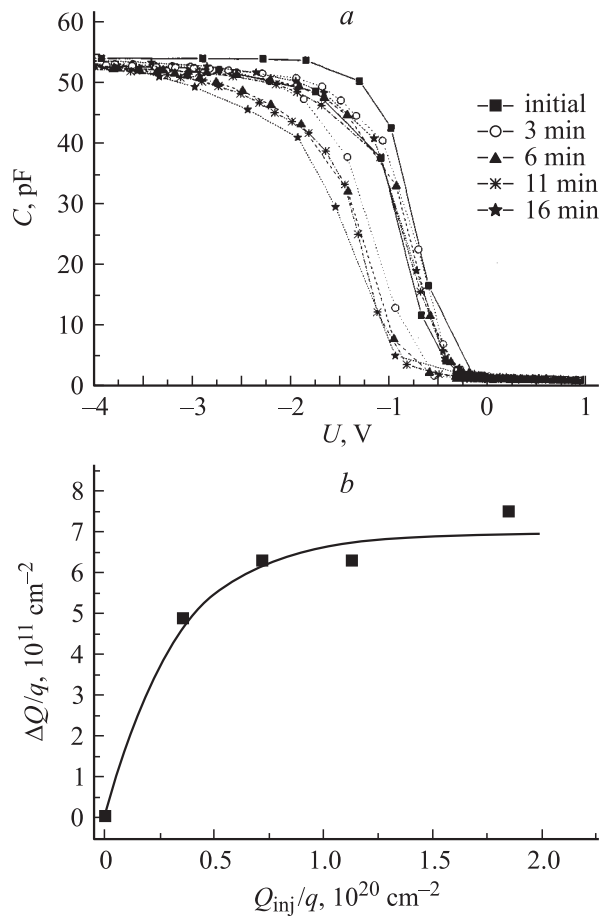
**Рис. 5.**  $C$ - $V$ - и  $I$ - $V$ -характеристики для структур с ориентацией  $p$ -Si (100) и (111), созданных нанесением монослоя 1-октадецена в условиях УФ подсветки на поверхность кремния, пассивированной йодом. Расстояние от лампы до образца составляло 6 см.



**Рис. 6.**  $C$ - $V$ - и  $I$ - $V$ -характеристики для структур с ориентацией  $p$ -Si (111), созданных нанесением монослоя 1-октадецена в зависимости от интенсивности подсветки УФ лампой на поверхность кремния, пассивированной йодом.

приводит к разной плотности дефектов в монослой и(или) разной плотности монослоя: более плотный или менее дефектный монослой 1-октадецена получается в случае ориентации кремния (111).

Эксперименты по выдержке структур с монослоями 1-октадецена под напряжением показали, что не все ловушки, присутствующие вблизи гетерограницы, заряжены. Смена полярности напряжения или некоторая выдержка структур без напряжения позволяла полностью или частично восстановить исходное состояние по заполнению ловушек. Данный результат согласуется с результатами работы [11], где наблюдали медленный сдвиг уровня Ферми в приповерхностной области кремния, который авторы связали с медленной перезарядкой состояний на гетерогранице. Доля заряженных ловушек зависит прежде всего от сечения захвата носителей. Величина сечения захвата носителей на ловушки, как следует из таблицы, также оказалась зависящей от ориентации подложки. Для поверхности (100) сечения захвата носителей более высокие для обоих типов ловушек. Это приводит к появлению гистерезиса на  $C$ - $V$ -



**Рис. 7.** *a* —  $C$ - $V$ -характеристики для структур с ориентацией  $p$ -Si (111), созданных нанесением монослоя 1-октадецена при среднем расстоянии от УФ лампы до поверхности кремния, пассивированной йодом, для разного времени выдержки структуры под напряжением  $-8$  В. *b* — изменение величины заряда  $\Delta Q$ , определенного из  $C$ - $V$ -характеристик, в зависимости от заряда, инжектированного в монослой 1-октадецена  $Q_{inj}$ .

характеристиках структур, созданных на кремнии (111). А дополнительная выдержка структур под напряжением уже практически не сопровождается ростом плотности заряженных ловушек.

Увеличение обратного тока через монослой 1-октадецена для ориентации кремниевой подложки (111) по сравнению с ориентацией кремния (100) коррелирует с более высокой плотностью ловушек  $T_+$  (см. таблицу). Аналогичное соотношение обратных токов и плотности ловушек  $T_+$  наблюдается и в случае увеличения интенсивности УФ подсветки при нанесении монослоя (рис. 5). Такая корреляция, скорее всего, связана с возникновением дополнительного канала туннелирования носителей через уровень ловушек  $T_+$ .

Плотность ловушек отрицательного заряда  $T_-$  резко уменьшается с ростом интенсивности подсветки. Согласно данным работы [6], УФ подсветка во время нанесения органического покрытия вызывает активацию (разрыв) связей Si-H(I) и образование связи с ра-

дикалом  $-\text{CH}_2-\text{CH}-(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_3$ . Уменьшение плотности ловушек  $T_-$  коррелирует с формированием более плотного монослоя и дает основание предположить, что ловушки  $T_-$  связаны с формированием дефектов в процессе окисления связей, не занятых молекулами 1-октадецена. Причем нужно отметить, что плотность ловушек  $T_-$  в случае использования водородной пассивации существенно ниже, чем в случае йодной пассивации (энергия связи Si-H меньше по сравнению с энергией связи Si-I). При этом, по данным работы [5], связи Si-I в некоторой концентрации присутствуют на поверхности кремния и после нанесения монослоя. В дальнейшем должно происходить формирование естественного окисла на связях Si-I, сохранившихся после нанесения 1-октадецена. Наличие примеси йода в высокой концентрации в органических покрытиях может даже приводить к формированию проводящих пленок [12]. Это позволяет связать ловушки  $T_-$  с присутствием йода как примеси в монослой 1-октадецена.

Сравнение двух типов пассивации (водородной и йодной пассивации) показало следующее. В случае использования йодной пассивации монослой 1-октадецена:

- 1) обладает более стабильными и воспроизводимыми параметрами,
- 2) прямой и обратный токи через монослой на 1–3 порядка ниже,
- 3) плотность ловушек в монослой, и особенно ловушек для электронов, выше, чем в случае водородной пассивации.

Формирование более плотного покрытия поверхности кремния в случае йодной пассивации поверхности по сравнению с водородной пассивацией отмечается в работе [5] и согласуется с более низкими значениями токов через монослой.

Введение ловушек для разных носителей зарядов (дырок и электронов) в монослой 1-октадецена и возможность управления плотностями ловушек путем изменения интенсивности подсветки или вида пассивации поверхности при нанесении монослоя дают возможность использовать данное покрытие для обеспечения проводимости тонких поверхностных слоев структур. В зависимости от типа проводимости и ориентации подложки можно выбрать режим нанесения пленки, чтобы обеспечить у поверхности состояние, близкое к плоским зонам, или обогащение носителями заряда.

## 5. Заключение

Проведено сравнение ловушек в структурах, состоящих из монослоя 1-октадецена на поверхности кремния, в зависимости от способа пассивации поверхности перед нанесением пленки (водородная и йодная пассивация) и интенсивности подсветки при нанесении покрытия. Показано, что в случае использования йодной пассивации монослой имеет более воспроизводимые параметры, но



при этом формируется несколько более высокая плотность ловушек в монослое. Обнаружено два типа ловушек (ловушки для дырок и для электронов), плотность которых зависит от интенсивности подсветки и способа пассивации при нанесении монослоя. В случае низкого уровня подсветки преобладают ловушки электронов, а в случае высокой интенсивности подсветки — ловушки для дырок. Показана возможность использования данных пленок для обеспечения проводимости в тонких приповерхностных слоях кремния за счет создания режима плоских зон или обогащения у поверхности. Хорошая стабильность монослоя 1-октадецена и его характеристика открывает широкие перспективы для использования данного покрытия в нанoeлектронике.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 05-02-16479 и 05-02-17250.

## Список литературы

- [1] R.A. Wolkow. *Am. Rev. Phys. Chem.*, **50**, 413 (1999).
- [2] J.M. Buriak. *Chem. Rev.*, **102**, 1271 (2002).
- [3] W.R. Ashurst, C. Yau, C. Carraro, C. Lee, G.J. Kluth, R.T. Howe, R. Maboudian. *Sens Actuators A*, **91**, 239 (2001).
- [4] J. Zhao, K. Uosaki. *J. Phys. Chem.*, **108**, 17 129 (2004).
- [5] W. Cai, Z. Lin, T. Strother, L.M. Smith, R.J. Hamers. *J. Phys. Chem. B*, **106**, 2656 (2002).
- [6] C. Miramond, D. Vuillaume. *J. Appl. Phys.*, **96**, 1529 (2004).
- [7] E.H. Nicollian, J.R. Brews. *MOS Physics and Technology* (Wiley-Interscience Publication, 1982).
- [8] N. Nazarov, T. Gebel, L. Rebohle, W. Skopura. *J. Appl. Phys.*, **94**, 4440 (2003).
- [9] A.B. Seival, R. Linke, H. Zuilhof, E.J.R. Sudholter. *Adv. Mater.*, **12**, 1457 (2000).
- [10] A.B. Seival, B. van den Hout, H. Zuilhof, E.J.R. Sudholter. *Langmuir*, **17**, 2172 (2001).
- [11] A.B. Seival, C.L. Huisman, A. Schönecker, F.M. Schourmans, B. van der Heide, A. Goossens, W.C. Sinker, H. Zuilhof, E.J.R. Sudhölter. *J. Phys. Chem.*, **107**, 6846 (2003).
- [12] Е.Г. Гук, М.Е. Левинштейн, В.А. Марихин, Л.П. Мясникова, С.Л. Румянцев. *ФТП*, **39**, 778 (1997).

Редактор Т.А. Полянская

## Electrical passivation of the silicon surface by 1-octadecene organic monolayer

*I.V. Antonova, R.A. Soots, V.A. Seleznev, V.Ya. Prinz*

Institute of Semiconductor Physics,  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
630090 Novosibirsk, Russia

**Abstract** Traps in structures with a 1-octadecene monolayer on silicon surfaces have been studied as a function of type of a surface termination (iodine- and hydrogen-terminated surface) before monolayer deposition and a illumination intensity during photoactivated reaction of attachment of molecules to silicon atoms. The 1-octadecene monolayer on silicon surfaces is stable and provides the chemical passivation of silicon. Two types of traps (traps for hole and electrons) are observed in the monolayer. Density of traps is found to depend on illumination intensity during deposition and surface pre-termination. In the case of the low illumination intensity and/or I-terminated surface electron traps are dominated. Hole traps are prevailed in the case of the high illumination intensity and/or H-terminated surface. Possibility to introduce either the hole or electron traps in 1-octadecene monolayer by controllable manner gives a potential to manage with conductivity of thin silicon layer providing flat band or accumulation regime.