

Состояния на границах и центры с глубокими уровнями в структурах кремний-на-изоляторе

© И.В. Антонова, Й. Стано*, Д.В. Николаев, О.В. Наумова, В.П. Попов, В.А. Скуратов*

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

* Объединенный институт ядерных исследований,
141980 Дубна, Россия

(Получена 23 января 2001 г. Принята к печати 31 января 2001 г.)

Методом емкостной спектроскопии проведено исследование глубоких уровней в отсеченном слое кремния, а также уровней ловушек — как на границе Si/SiO₂, полученной прямым сращиванием, так и на границе Si(подложка)/⟨термический SiO₂⟩ в структурах кремний-на-изоляторе, созданных методом сращивания пластин кремния и расслоения одной из пластин путем имплантации водорода. Показано, что граница Si/⟨термический SiO₂⟩ в структуре кремний-на-изоляторе имеет непрерывный спектр состояний ловушек, близкий к случаю классических МДП структур. Распределение состояний в верхней половине запрещенной зоны для сращенной границы Si/SiO₂ характеризуется относительно узкой полосой состояний в пределах от $E_c - 0.17$ эВ до $E_c - 0.36$ эВ. Кроме того, в отсеченном слое кремния наблюдаются два центра с уровнями $E_c - 0.39$ эВ и $E_c - 0.58$ эВ, которые сосредоточены в приповерхностном слое толщиной до 0.21 мкм и предположительно связаны с остаточными постимплантационными дефектами.

Введение

Структуры кремний-на-изоляторе (КНИ) обладают целым рядом преимуществ по сравнению с "объемным" кремнием, что стимулирует интерес к исследованию их свойств. Среди существующих способов создания КНИ наиболее перспективными считаются методы, основанные на прямом сращивании пластин кремния и расслоении одной из пластин путем имплантации водорода [1–3]. Толщина отсеченного слоя кремния в таких структурах не превышает 0.5–0.2 мкм. Очевидно, что при такой толщине кремниевой пленки ловушки на границе раздела Si/SiO₂ будут оказывать существенное влияние на характеристики приборов, создаваемых на КНИ-структурах. Кроме того, в процессе создания КНИ на сращиваемой границе могут присутствовать различные загрязнения металлами и другими примесями, которые способны вводить электрически активные комплексы с глубокими уровнями в запрещенной зоне кремния [4]. Если для КНИ-структур, созданных имплантацией кислорода (SIMOX), проведены исследования отсеченного слоя кремния и границы раздела Si/SiO₂ [5], то для КНИ-структур, полученных методом сращивания, такие данные в настоящее время отсутствуют. Цель

настоящей работы — исследование глубоких уровней в отсеченном слое кремния и ловушек на границе Si/SiO₂, полученной прямым сращиванием, в сравнении с границей раздела Si(подложка)/⟨термический SiO₂⟩ в КНИ-структурах.

Методика эксперимента

Для создания структур КНИ был использован кремний, выращенный методом Чохральского, диаметром 100 мм *p*- и *n*-типа проводимости. В таблице приведены концентрации носителей заряда в исходном материале, а также в пленке и подложке структур КНИ. Толщина отсеченного слоя кремния в структурах составляла 0.5 мкм, толщина захороненного диэлектрика — 0.28–0.4 мкм. В отдельных случаях проводилось дополнительное легирование отсеченного слоя кремния бором ($E = 130$ кэВ, $D = 10^{15}$ см⁻²) или фосфором ($E = 300$ кэВ, $D = 10^{12}$ см⁻²) с последующим отжигом для активации внедренной примеси при 900–1100°С. Как было показано в работе [6], если исходные пластины имели *p*-тип проводимости, в отсеченном слое структуры КНИ формируется *n*-тип проводимости, обозначенный в таблице как *n**-Si. В исследованных структурах граница

Параметры исходного материала и сочетание пластин в структурах кремний-на-изоляторе (КНИ)

Обозначение КНИ	Отсеченный слой кремния; $n(p)$, см ⁻³		Подложка; $n(p)$, см ⁻³
	Исходная пластина	Пленка Si в КНИ	
SOI-I	<i>n</i> -Si; $1.5 \cdot 10^{15}$	<i>n</i> -Si; $5 \cdot 10^{15}$	<i>n</i> -Si; $1.5 \cdot 10^{15}$
SOI-II	<i>p</i> -Si; $1.5 \cdot 10^{15}$	<i>n</i> *-Si; $3 \cdot 10^{15}$	<i>n</i> -Si; $1.5 \cdot 10^{15}$
SOI-III	<i>p</i> -Si; $2 \cdot 10^{15} + B^+$	<i>p</i> ⁺ -Si; $2 \cdot 10^{18}$	<i>p</i> -Si; $(1-2) \cdot 10^{15}$
SOI-IV	<i>p</i> -Si; $10^{15} + P^+$	<i>n</i> ⁺ -Si; $2 \cdot 10^{16}$	<i>n</i> -Si; $3 \cdot 10^{14}$

Примечание. *n** — *n*-тип проводимости, возникший в процессе изготовления структуры КНИ; B⁺ или P⁺ обозначает дополнительное легирование отсеченного слоя кремния.

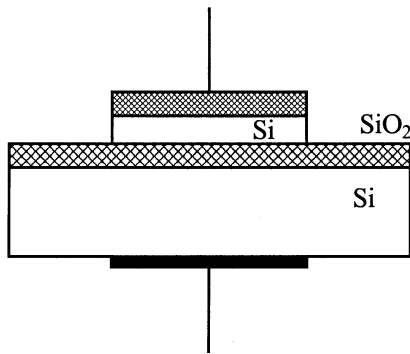


Рис. 1. Схема меза-структур, на которых проводились измерения методами вольт-фарадных характеристик и емкостной спектроскопии глубоких уровней.

(отсеченный слой кремния)/захороненный оксид является границей сращивания, тогда как граница подложка/захороненный оксид — границей между кремнием и термически выращенным оксидом.

Для исследований использовались методы измерения высокочастотных вольт-фарадных (*CV*) характеристик и метод емкостной спектроскопии глубоких уровней (*DLTS*). Из имеющихся разновидностей методов *DLTS* была использована так называемая зарядовая *DLTS* (*Q-DLTS*) [7]. Метод *Q-DLTS* обладает рядом преимуществ по сравнению с классической высокочастотной *DLTS*, расширяющий возможности исследования именно границ раздела в структурах металл–диэлектрик–полупроводник (*МДП*) [7]. Рабочая частота при измерениях методом *Q-DLTS* составляла 1 кГц. Временное окно варьировалось в пределах $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ с, длительность заполняющего импульса составляла $10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$ с. Часть измерений проводилась с помощью метода *C-DLTS* на частоте 8 МГц при тех же значениях временного окна и длительности заполняющего импульса. Величина смещения, приложенного к структуре в процессе измерения, обозначена U_2 , а амплитуда заполняющего импульса — U_1 . Все измерения проводились на меза-структурах (рис. 1). Контакты создавались напылением *Al*. Площадь меза-структур варьировалась в диапазоне 0.5–1 мм².

Результаты эксперимента

Вольт-фарадная характеристика для структур типа *n-Si/SiO₂/n-Si* представлена на рис. 2. Данная зависимость является типичной для случая, когда типы проводимости в пленке и подложке совпадают [8], причем величина $C_{\min 1}$ определяется последовательно включенными емкостями подложки и захороненного диэлектрика, а $C_{\min 2}$ — последовательно включенными емкостями отсеченного слоя кремния и захороненного диэлектрика. Область напряжений из интервала I соответствует случаю, когда обедненный слой находится в подложке, а обогащенный слой — в кремниевой пленке.

Именно в этом интервале напряжений может наблюдаться при *DLTS*-измерениях перезарядка состояний на границе подложка/оксид и глубоких уровней в подложке. При больших обратных смещениях в подложке начинается инверсия. При напряжениях из диапазона II обедненный слой находится в пленке, а обогащенный — в подложке. Выбирая напряжения из этого диапазона, мы можем наблюдать перезарядку состояний на границе пленка/оксид и глубоких уровней в пленке. При больших положительных напряжениях в пленке имеет место инверсия.

Из *CV*-характеристик для всех структур были определены концентрации носителей в пленке и в подложке (см. таблицу), а также величины фиксированного заряда в захороненном диэлектрике и плотности состояний на границах раздела. Как следует из этих измерений, концентрация носителей в подложке вблизи границы с захороненным окислом практически не изменяется по сравнению с концентрацией в исходном кремнии.

На рис. 3 представлены спектры *Q-DLTS* для структур *SOI-II* и *SOI-III*, полученные при использовании напряжений из интервала I, когда тестируется подложка и ее граница с окислом. Спектры для структуры *SOI-I* и *SOI-IV* аналогичны спектрам для *SOI-II*. Наблюдаемые пики можно разделить на две группы, для которых положение максимума по температуре: 1) не зависит от величины приложенного смещения, 2) изменяется при варьировании напряжения. Пики первого типа соответствуют объемным центрам, второго — ловушкам на границе *Si/SiO₂*. Как показал эксперимент, практически все пики, наблюдаемые на рисунке, соответствуют непрерывному спектру распределения глубоких уровней. Это следует из обработки спектров, представленных на рисунке, и спектров, снятых при различных значениях временного окна. Исключение составляет пик *E1*, наблюдающийся для *SOI-II* и имеющий температуру максимума 166 К, независимо от приложенного смещения. Параметры этого

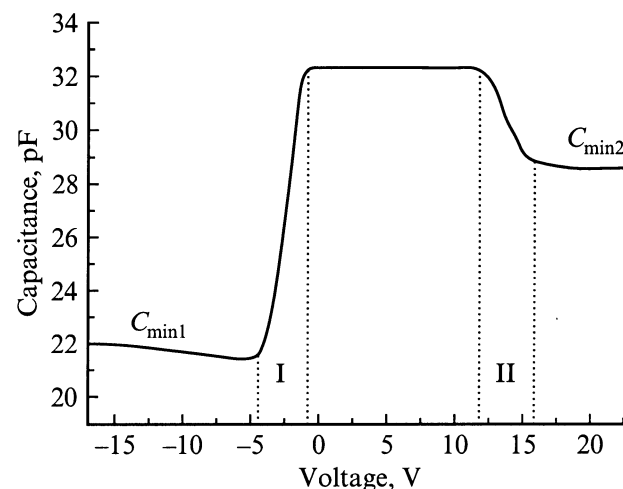


Рис. 2. Типичная вольт-фарадная характеристика для структуры кремний-на-изоляторе типа *n-Si/SiO₂/n-Si*.

пики составляют $E_c - 0.14$ эВ, $\sigma = 10^{-19}$ см² и определены они в предположении, что сечение σ не зависит от температуры.

Для построения распределения плотности поверхностных состояний в запрещенной зоне кремния на основании полученных спектров был проведен расчет изгиба зон в кремнии на границе подложка/окисел (Ψ_{s2}). В случае заземленной подложки напряжение V , приложенное к структуре, может быть записано в виде [5]

$$V = -\Psi_{s1} + \Psi_{s2} + V_{ox} + W_{12}, \quad (1)$$

где V_{ox} — напряжение, падающее на диэлектрике, Ψ_{s1} и Ψ_{s2} — поверхностные потенциалы на границах пленка/ SiO_2 и подложка/ SiO_2 соответственно, W_{12} — контактная разность потенциалов между пленкой и подложкой. В случае, когда пленка находится в обогащении, величиной Ψ_{s1} по сравнению с Ψ_{s2} можно пренебречь; $V_{ox} = Q/C_{ox}$, где C_{ox} — емкость окисла. Заряд Q может быть представлен в виде выражения

$$Q = Q_{s1} + Q_{t1} + Q_{f1} = -Q_{s2} - Q_{t2} - Q_{f2}, \quad (2)$$

где индексы "1" относятся к пленке, а индексы "2" — к подложке, другие индексы обозначают: s — заряд, возникающий в полупроводнике, f — фиксированный заряд в окисле, t — заряд, захваченный на ловушки на границе раздела. При расчетах использовались данные, полученные из CV-измерений. В результате была определена зависимость $\Psi_{s2}(V)$, используя которую для каждого спектра на рис. 3 был определен диапазон Ψ_{s2} , соответствующий напряжениям $U2$ и $U2 + U1$. Это позволило определить интервал энергий ловушек, которые

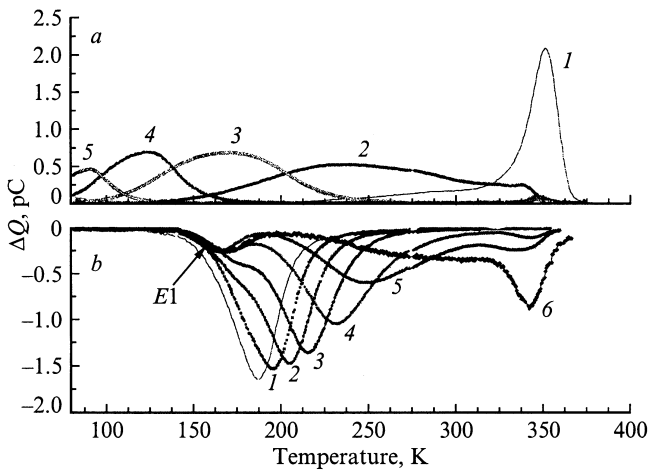


Рис. 3. Спектры для структур SOI-III (a) и SOI-II (b), полученные методом зарядовой релаксационной спектроскопии (Q-DLTS) при использовании напряжений из интервала I (см. рис. 2), когда тестируется подложка и ее граница с окислом. Амплитуда заполняющего импульса $U1$, В: a — (−0.5), b — 0.5. Напряжение смещения, приложенное к структуре в процессе измерения — на рис. a $U2$, В: 1 — 2, 2 — 1.5, 3 — 1, 4 — 0.5, 5 — 0; на рис. b $U2$, В: 1 — (−1.5), 2 — (−2), 3 — (−2.5), 4 — (−3), 5 — (−3.5), 6 — (−4).

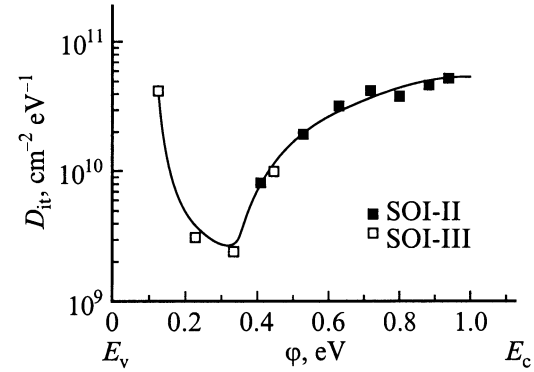


Рис. 4. Распределение плотности состояний на границе раздела подложка/термический окисел, полученное для структур SOI-II и SOI-IV.

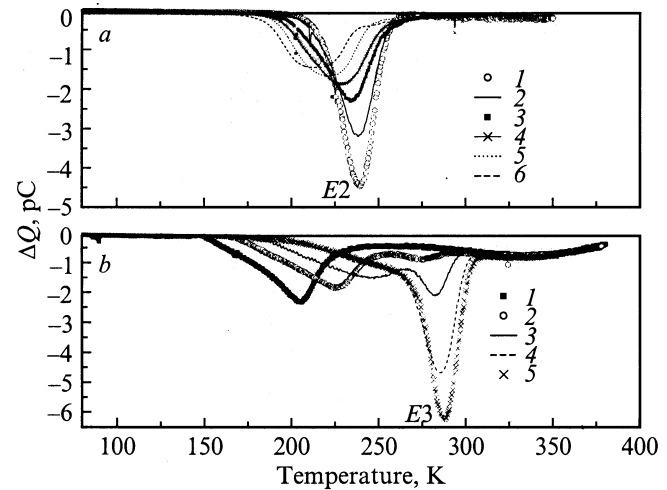


Рис. 5. Спектры, полученные методом зарядовой релаксационной спектроскопии (Q-DLTS), измеренные при напряжениях смещения из интервала II, когда тестируется пленка и ее граница с окислом (сращенная граница) для структур SOI-I (a) и SOI-II (b). Параметры измерений: $U1 = -2$ В, $\tau = 1$ мс. Напряжение смещения, приложенное к структуре в процессе измерения — на рис. a $U2$, В: 1 — 15, 2 — 13, 3 — 11, 4 — 9, 5 — 7, 6 — 5; на рис. b $U2$, В: 1 — 8, 2 — 10, 3 — 12, 4 — 14, 5 — 16.

должны перезаряжаться при измерении методом DLTS. Данный способ обработки DLTS-спектров был разработан для МДП структур [9,10] и затем модифицирован для КНИ [5]. Полученное распределение плотности состояний на границе раздела подложка/термический окисел представлено на рис. 4.

Спектры Q-DLTS, измеренные при напряжениях из интервала II, когда тестируется пленка и ее граница с окислом (сращенная граница), для структур SOI-I, SOI-II представлены на рис. 5. Обработка спектров показывает, что наблюдаемые пики соответствуют относительно узкой полосе энергий в запрещенной зоне кремния (рис. 6). Также на рис. 6 представлено распределение состояний для более сильно легированной структуры SOI-IV.

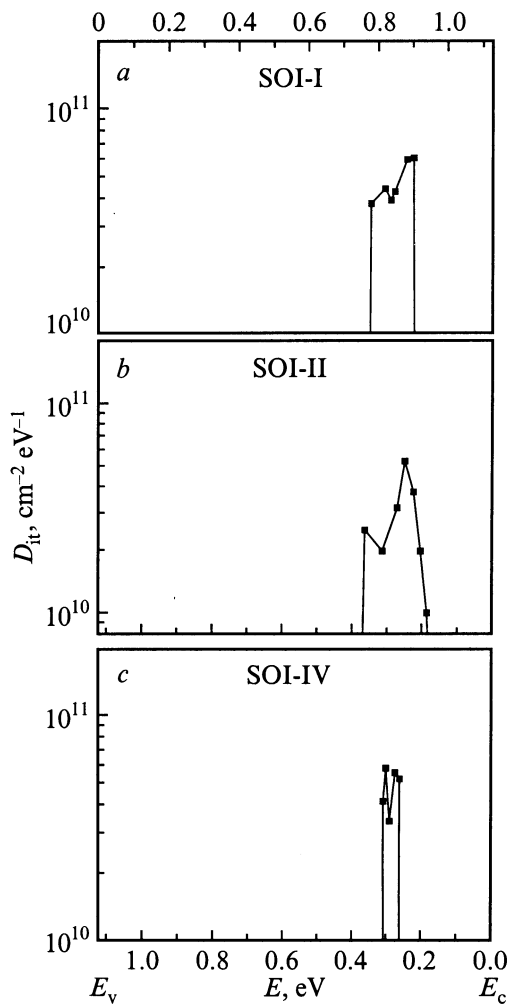


Рис. 6. Распределение плотности состояний на сращенной границе Si/SiO₂ для структур SOI-I (a), SOI-II (b) и SOI-III (c).

Так как измерения проводились на структурах типа *n*-Si/SiO₂/*n*-Si, тестировалась только верхняя половина запрещенной зоны кремния для SOI-I, SOI-II до $E_c - 0.74$ эВ и для SOI-IV до $E_c - 0.67$ эВ. Как уже упоминалось выше, при использовании кремния *p*-типа проводимости для отсеченного слоя, в процессе создания структур КНИ происходила конверсия типа проводимости в *n*-тип, что затрудняло создание структур, подходящих для исследования нижней половины запрещенной зоны.

Кроме состояний, связанных с границей раздела, в структурах SOI-I, SOI-II наблюдаются "объемные" глубокие уровни, обусловленные центрами, локализованными в отсеченном слое кремния. Параметры этих уровней: $E_c - 0.39$ эВ, $\sigma = 10^{-15}$ см² (E_2 , наблюдается в SOI-I) и $E_c - 0.58$ эВ, $\sigma = 4 \cdot 10^{-14}$ см² (E_3 , наблюдается в SOI-II). Вывод о связи уровней с центрами, локализованными в пленке, сделан на основе анализа спектров, представленных на рис. 5, и спектров, измеренных при разных значениях временного окна. Причем оказалось, что оба центра находятся в слое от поверхности до глубины

0.21 мкм и имеют спадающие от поверхности профили распределения концентрации, начиная с концентраций $2 \cdot 10^{15}$ и $5 \cdot 10^{15}$ см⁻³ для SOI-I и SOI-II соответственно. В структуре SOI-IV глубоких уровней в отсеченном слое кремния не наблюдалось.

Обсуждение результатов эксперимента

Как показали исследования, в КНИ-структурах на границе подложка/⟨термический окисел⟩ распределение состояний по запрещенной зоне является непрерывным и близко к тому, что наблюдается при исследовании состояний на границе Si/⟨термический SiO₂⟩ в обычных МДП структурах (см., например, [9,10]). Основное отличие в спектрах DLTS этой границы — появление дополнительного пика E_1 . Для сращенной границы Si/SiO₂ распределение состояний, по крайней мере в верхней половине запрещенной зоны, существенно отличается. Но отличается только по диапазону энергий, в котором видны уровни. Если наложить распределения, представленные на рис. 4 и 6, друг на друга, то видно, что плотности состояний во всех случаях практически совпадают.

Столь узкий интервал энергий в распределении состояний на границе раздела не связан с методическими ограничениями, обусловленными относительно небольшой толщиной отсеченного слоя кремния, так как полученные распределения состояний практически не зависят от уровня легирования пленки. Увеличение же уровня легирования пленки (SOI-IV) эквивалентно с методической точки зрения увеличению ее толщины.

Отличие сращенной границы Si/SiO₂ от термически окисленной заключается в первую очередь в толщине переходного слоя SiO_x. В наших структурах толщина переходного слоя на границе подложка/⟨захороненный слой SiO₂⟩ составляет по данным эллипсометрии 3 нм, тогда как на границе, полученной сращиванием, переходного слоя практически нет (1–2 монослоя, т. е. ~ 0.5 нм). Именно с присутствием слоя SiO_x связывают непрерывный спектр состояний на традиционной границе Si/SiO₂ (см., например, [11]). Поэтому основной причиной сужения энергетического интервала распределения состояний на границе Si/SiO₂, полученной сращиванием, может являться аномально тонкий переходной слой.

Другим важным фактором, способным влиять на спектр состояний на границе раздела является присутствие на сращенной границе водорода. Следует отметить, что водород, который обладает достаточно большой подвижностью в кремнии в процессе изготовления структур КНИ проникает из отсеченного слоя как на границу подложка/⟨термический окисел⟩, так и в подложку [6], накапливаясь на ней практически в такой же концентрации, как и на верхней границе. Скорее всего именно водород стимулирует формирование комплекса с энергетическим уровнем $E_c - 0.14$ эВ вблизи границы Si/⟨термический SiO₂⟩. Тем не менее на этой границе

наблюдается традиционное непрерывное распределение ловушек в запрещенной зоне. Поэтому узкий спектр состояний на сращенной границе Si/SiO₂ скорее всего не связан с присутствием водорода в процессе изготовления КНИ.

Эксперимент также показал, что в отличие от подложки, в пленке КНИ-структуры наблюдаются глубокие уровни $E_c - 0.39$ эВ (в SOI-I) и $E_c - 0.58$ эВ (в SOI-II). Для исследования пространственного распределения глубоких уровней в отсеченном слое кремния для некоторых структур важным моментом является качество контакта между алюминием и кремнием. Для структуры SOI-IV толщина максимально возможной области пространственного заряда d_{\max} составляет 0.20 мкм, т.е. пленка частично обедняется (толщина пленки больше $2d_{\max}$). Наличие барьера на границе с Al в этом случае никаким образом не влияет на полученные результаты. Для структуры SOI-III ситуация аналогична также в силу высокого уровня легирования кремниевой пленки. Для структур SOI-I, SOI-II величина d_{\max} равна или близка по величине к толщине отсеченного слоя. Наличие контактного барьера должно сказаться в первую очередь на толщине слоя, в котором наблюдаются центры E_2 и E_3 , она реально может оказаться несколько больше, чем величина 0.21–0.22 мкм, полученная в предположении, что барьер отсутствует. В то же время это значение не может превышать 0.28 мкм, так как в области, зондируемой в SOI-IV, глубоких уровней уже не наблюдается. Напыление Al на кремний p -типа обычно дает барьер высотой 0.6 эВ, тогда как на кремнии n -типа барьер, как правило, не формируется. Структуры SOI-I, SOI-II изготовлены как раз на кремнии n -типа проводимости, и не трудно оценить, что при данных концентрациях в SOI-I, SOI-II до температур 350 К барьера быть не должно, а имеет место некоторое обогащение приповерхностного слоя.

Следует отметить, что КНИ-структуры, исследуемые в данной работе, не проходили стадию утончения отсеченного слоя кремния путем полировки или окисления. Такая обработка обычно проводится для удаления остаточных нарушений, введенных имплантацией водорода и сохранившихся в процессе отжига. Из литературы известно [12,13], что дислокации в кремнии могут вводить ряд глубоких уровней: $E_c - 0.22$ эВ, $E_c - (0.31 - 0.33)$ эВ, $E_c - (0.38 - 0.40)$ эВ, $E_c - 0.58$ эВ (рис. 7) [12,13]. Полный набор уровней дают дислокации, введенные пластической деформацией [12], тогда как дислокационные петли в ионно-имплантированном материале вводят одновременно меньшее количество тех же или близких уровней [14]. Так, в КНИ-пластинах, полученных методом SIMOX, наблюдаются глубокие уровни $E_c - (0.32 - 0.33)$ эВ, $E_c - (0.38 - 0.40)$ эВ [15,16].

Сравнение уровней, наблюдавшихся в данной работе в пленке КНИ, с уровнями, вводимыми в кремний протяженными дефектами (рис. 7), показывает, что они близки по энергетическому положению. В исследуемых КНИ-структурах максимум нарушений находится

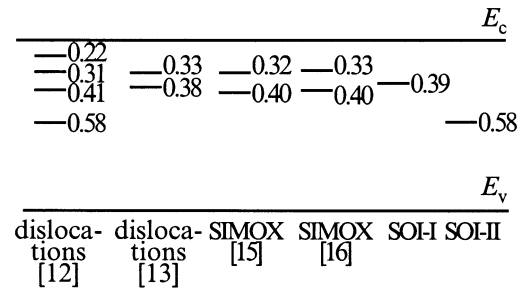


Рис. 7. Диаграмма известных глубоких уровней, связанных с протяженными дефектами дислокационного типа [12,13]; уровней, наблюдаемых в SIMOX-структурах [15,16], а также обнаруженных в данной работе.

на поверхности. Локализация уровней в относительно тонком приповерхностном слое кремниевой пленки и наличие спадающего от поверхности в глубь пленки профиля распределения глубоких центров, с нашей точки зрения, является дополнительным аргументом в пользу предположения, что наблюдаемые в SOI-I и SOI-II уровни связаны с остаточными постимплантационными дефектами. Отсутствие этих уровней в SOI-IV с более сильно легированным верхним слоем, когда тестируемая область не доходит до нарушенного приповерхностного слоя, подтверждает факт, что слой кремния на толщине ~ 0.3 мкм от захороненного окисла не содержит центров с глубокими уровнями (электрически активных примесей и дефектов).

Заключение

Показано, что граница Si / (термический SiO₂) в структуре кремний-на-изоляторе (КНИ), полученной методом прямого сращивания пластин кремния и расслоения одной из пластин путем имплантации водорода, характеризуется непрерывным спектром состояний. Отличием спектра состояний данной границы в структуре КНИ от спектра состояний в МДП структуре является появление дополнительного пика, соответствующего уровню с энергией $E_c - 0.14$ эВ, $\sigma = 10^{-19}$ см², связанного скорее всего с присутствием на границе остаточного водорода. Распределение состояний в верхней половине запрещенной зоны для сращенной границы Si/SiO₂ характеризуется относительно узкой полосой состояний в пределах от $E_c - 0.17$ эВ до $E_c - 0.36$ эВ. Кроме того, в отсеченном слое кремния наблюдаются два центра с уровнями $E_c - 0.39$ эВ, $\sigma = 10^{-15}$ см² (наблюдается в SOI-I) и $E_c - 0.58$ эВ, $\sigma = 4 \cdot 10^{-14}$ см² (наблюдается в SOI-II), которые наблюдаются в приповерхностном слое толщиной до 0.21 мкм и предположительно связаны с остаточными постимплантационными дефектами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 01-02-16986 и при частичной поддержке МНТЦ, грант № 563.

Список литературы

- [1] M. Bruel. *Electron. Lett.*, **31**, 1201 (1995).
- [2] Y.A. Li, R.W. Bower. *Japan. J. Appl. Phys.*, **39**, 275 (2000).
- [3] V.P. Popov, I.V. Antonova, V.F. Stas, L.V. Mironova, E.P. Neustroev, A.K. Gutakovskii, A.A. Franzusov, G.N. Feofanov. In: *Perspectives, Science and Technologies for Novel Silicon-on-Insulator Devices*, ed. by P.L.F. Hemment et al. (Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 2000) p. 47.
- [4] E.V. Astrova, V.A. Kozlov, A.A. Lebedev, V.B. Voronkov. *Sol. St. Phenomena*, **69**, **70**, 539 (1999).
- [5] S. Cristoloveanu, S.S. Li. *Electrical characterization of silicon-on-insulator materials and device* (Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 1995).
- [6] И.В. Антонова, В.Ф. Стась, В.П. Попов, В.И. Ободников, А.К. Гутаковский. *ФТП*, **34**, 1095 (2000).
- [7] J.W. Farmer, C.D. Lamp, J.M. Meese. *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 1064 (1982).
- [8] K. Nagai, T. Sekigawa, Y. Hayashi. *Sol. St. Electron.*, **28**, 789 (1985).
- [9] T. Katsube, K. Kakimoto, T. Ikoma. *J. Appl. Phys.*, **52**, 3504 (1981).
- [10] K. Hofmann, M. Schulz. *J. Electrochem. Soc.: Sol. St. Sci. a. Tech.*, **132**, 2201 (1985).
- [11] А.А. Лебедев, В. Экке. *ФТП*, **19**, 1087 (1985).
- [12] L.C. Kimerling. In: *Point and Extended Defects in Semiconductors*, ed. by G. Benedek, A. Cavallini, and W. Schroter. NATO ASI Series (N.Y., 1988) v. 202.
- [13] N.A. Yarykin, E.B. Yakimov, S.V. Koveshnikov, O.V. Feklisova. *Papers Presented at Fifth Intern. Conf. on Properties and Structure of Dislocations in Semiconductors* (Moscow, Russia, 1986) p. 209.
- [14] И.В. Антонова, Г.А. Качурин, И.Е. Тыщенко, С.С. Шаймеев. *ФТП*, **30**, 2017 (1996).
- [15] H.S. Kang, C.G. Ahn, B.K. Kang, Y.K. Kwon. *J. Electrochem. Soc.*, **145**, 3581 (1998).
- [16] P.K. McLarty, J.W. Cole, K.F. Galloway, D.E. Ioannou. *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 1078 (1987).

Редактор Т.А. Полянская

Distribution of the interface traps and deep level centers in silicon-on-insulator structures

I.V. Antonova, J. Stano*, D.V. Nikolaev, O.V. Naumova, V.P. Popov, V.A. Skuratov*

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

* FLNR, Joint Institute for Nuclear Research,
141980 Dubna, Russia

Abstract A bonded Si/SiO₂ interface has been investigated by the Q-DLTS technique and compared with Si/(thermal SiO₂) interface in the silicon-on-insulator (SOI) structures. The latter is characterized by a continuous distribution of interface states, whereas in the case of bonded Si/SiO₂ interface in the upper half of the band gap there are traps with levels in the range of $E_c - 0.17$, $E_c - 0.36$ eV. This narrow interval of the trap energies is most likely caused by lack of SiO_x layer at the bonded interface. The deep levels with $E_c - 0.39$ eV and $\sigma = 10^{-15}$ cm², and $E_c - 0.58$ eV, $\sigma = 4 \cdot 10^{-14}$ cm² observed in the top Si layer down to the depth of 0.21 μm from the surface most likely represent extended radiation damages located in sub-surface area of the SOI.