

05.2;06.1;06.2;11;12

ВРЕМЕННОЙ ДРЕЙФ ПАРАМЕТРОВ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ФОСФИД ИНДИЯ — ДВУОКИСЬ КРЕМНИЯ

© Л.С.Берман, А.Д.Габараева, А.В.Каманин, И.Каримов,
Л.Е.Клячкин, Л.В.Шаронова, Н.М.Шмидт

Временной дрейф параметров границы раздела соединения A^3B^5 — диэлектрик, и в частности $InP-SiO_2$, — одна из основных проблем физики границы раздела. Несмотря на достигнутые в последнее десятилетие успехи в понимании физической природы временного дрейфа [1-7], временной интервал, соответствующий сравнительно слабым изменениям параметров границы, не превышает нескольких часов [6,7].

Поэтому целесообразно, наряду с ранее установленными причинами [1-4], проанализировать практически не рассматривавшиеся, связанные с объемными свойствами диэлектрика. Опыт кремниевой технологии [8] позволяет предположить, что низкотемпературные методы, используемые обычно для нанесения диэлектрика в технологии A^3B^5 , не обеспечивают полную релаксацию неравновесных дефектов, вводимых при формировании диэлектрика. Это приводит к структурным нарушениям не только в приповерхностной области полупроводника, но и в объеме диэлектрика. Эти структурные нарушения выражаются в образовании неустойчивых, деформированных Si-O связей в кремний-кислородных тетраэдрах. Эти особенности и могут быть ответственны за временной дрейф параметров границы полупроводник-низкотемпературный SiO_2 .

Целью нашей работы было выяснение влияния особенностей объемных свойств диэлектрика, возникающих при низкотемпературных неравновесных условиях его получения, на параметры границы раздела InP — диэлектрик их временной дрейф.

В качестве диэлектрика был выбран SiO_2 , так как его структурные особенности изучены гораздо лучше, чем других диэлектриков, и в то же время эти особенности являются типичными, например для собственных оксидов A^3B^5 типа ABO [9]. Поэтому рост SiO_2 и исследование параметров границы раздела SiO_2 -полупроводник осуществлялись как на InP , так и на кремнии.

Методика эксперимента. Пленки SiO_2 выращивались на подложках $n\text{-InP}$ и $n\text{-Si}$ методом химического осаждения из паровой фазы (CVD) [10] в одном процессе при температуре 350°C . Химическая подготовка подложек проводилась по стандартным методикам.

На полученных образцах определялся показатель преломления на эллипсометре ЛЭФ-3М на длине волны $0.632\ \mu\text{м}$. Для исследования структуры пленок SiO_2 был использован метод инфракрасной спектроскопии. Инфракрасные спектры поглощения записывались на спектрофотометре SPECORD IR75 в диапазоне $500\text{--}1400\ \text{см}^{-1}$. Электрические параметры границы раздела исследовались на МДП структурах: $\text{Al-SiO}_2 - n\text{-InP}$ и $\text{Al-SiO}_2 - n\text{-Si}$. Частотная зависимость емкости SiO_2 определялась на мосте SWM3-2 в диапазоне частот $1\ \text{кГц}\text{--}1\ \text{МГц}$. Вольтфарадные характеристики (ВФХ) и изотермическая релаксация емкости $C(t)$ измерялись на автоматизированной установке [11] на частоте $100\ \text{кГц}$.

Временной дрейф параметров границы раздела оценивался по изотермической релаксации емкости после переключения от обогащения к обеднению (после длительной выдержки при обогащении). Зависимость $C(t)$ измерялась в интервале $0.1\text{--}1.3 \cdot 10^3\ \text{с}$, и в этом временном интервале временной дрейф определялся как $|\Delta C/C|\%$. Следует отметить, что общепринятой методики определения временной нестабильности в настоящее время нет. Используемая нами методика позволяет проследить за теми же процессами, которые ответственны за дрейф тока в полевых транзисторах и сдвиг потенциала плоских зон во времени, и допускает количественное сравнение результатов измерений.

Проведенные исследования показали, что слои SiO_2 , выращенные на подложках InP и Si в одном процессе, практически не отличаются по объемным свойствам диэлектрика: показателю преломления (n), диэлектрической проницаемости (ϵ), толщине (d), скорости травления (v_{et}). Типичным являются близкие значения фиксированного заряда Q_0/q : $8 \cdot 10^{11}\ \text{см}^{-2}$ для Si-SiO_2 и $5 \cdot 10^{11}\ \text{см}^{-2}$ для InP-SiO_2 . При этом значение $|\Delta C/C|\%$ составляет 6% как для той, так и для другой границы. Таким образом, временной дрейф близок к обычно наблюдаемому на A^3B^5 .

$C\text{--}V$ характеристики МДП структур не вполне идентичны: например, для InP-SiO_2 типичным является гистерезис, достигающий для некоторых образцов значений $\sim 1\ \text{В}$; для Si-SiO_2 он, как правило, незначителен (рис. 1). В то же время для структур Si-SiO_2 характерным является аномальное поведение емкости: ее уменьшение после переключения структуры от "+" к "-". Однако в данной работе мы не бу-

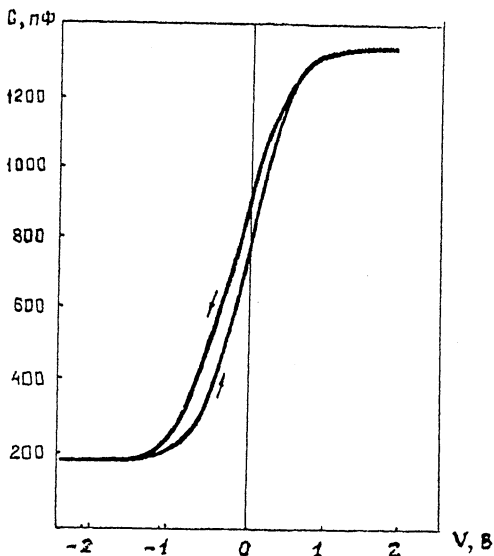


Рис. 1. Вольт-фарадная характеристика структуры Si-SiO₂. Режим измерения при $T = 293$ К: выдержка 24 ч при $U = 0$ В; переключение от 2.2 до -4.6 В и обратно; $dV/dt = 33$ мВ/с.

дем обсуждать эти особенности. Для образцов InP-SiO₂ методом изотермической релаксации емкости был определен энергетический спектр плотности состояний. В минимуме $N_{tmin} = (5 \pm 1) \cdot 10^{11}$ эВ⁻¹ · см⁻².

Сравнение свойств полученного SiO₂ с термическим показало, что n у них совпадает с большой точностью (1.456), значение ϵ для низкотемпературного SiO₂ равно 5.2, что несколько выше, чем у термического SiO₂. Частотная зависимость емкости для низкотемпературного SiO₂, так же как для термического, отсутствует. Скорость травления в несколько раз выше (180 Å/мин), чем для термических окислов (30 Å/мин [12]), что свидетельствует о структурных изменениях в объеме SiO₂. Эти изменения подтверждаются исследованием спектров поглощения. Основной пик, связанный с поглощением на колебаниях Si-O связей (рис. 2), смещен относительно положения этого пика для термического окисла (1100 см⁻¹), причем для структур InP-SiO₂ это смещение, как правило, несколько больше. Наблюдаемый сдвиг достаточно типичен для низкотемпературного SiO₂ и наблюдается для структур Si-SiO₂ разными авторами [13]. Этот сдвиг свидетельствует о структурных изменениях в SiO₂, связанных с деформацией Si-O связей. Присутствие вторых максимумов в диапазоне 810-820 см⁻¹ связано с разорванными Si-O связями.

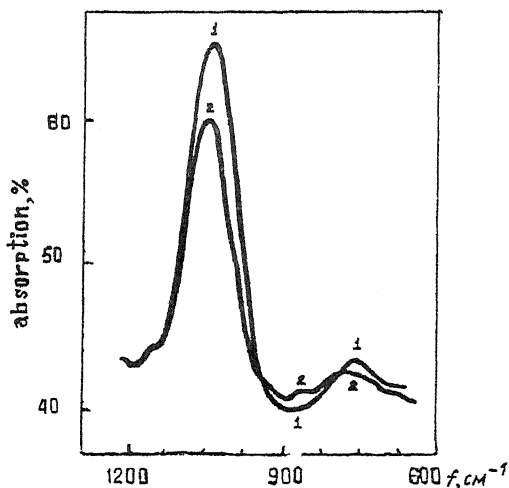


Рис. 2. Инфракрасные спектры поглощения SiO_2 : 1 — InP-SiO_2 ; 2 — Si-SiO_2 .

Теоретический и экспериментальный опыт исследования динамических свойств Si-O-Si связей и Si-O связей в тетраэдре SiO_4 [14] позволяет говорить о том, что деформация Si-O связей может приводить к изменению зарядового состояния тетраэдра и его поляризации. Причем заряд не локализован внутри тетраэдра и может распространяться на ближайшие катионы, вызывая изменение полного заряда соседнего тетраэдра. Это изменение может вызывать изменение длин связей Si-O в соседнем тетраэдре. Эти динамические свойства Si-O связей и SiO_4 тетраэдров и могут быть ключом к пониманию временных нестабильностей InP-SiO_2 ; Si-SiO_2 структур при полевых воздействиях.

Полученные результаты свидетельствуют о связи временного дрейфа со структурными особенностями SiO_2 , полученного низкотемпературными методами.

Работа выполнена при поддержке Международного научного фонда (грант № NU 2000).

Список литературы

- [1] Lile D.L., Taylor M.J., // J. Appl. Phys. 1983. V. 54. N 1. P. 260-267.
- [2] Tardy J., Thomas I., Viktorovich P. et al. // Appl. Surf. Sci. 1991. V. 50. P. 383-389.
- [3] Hollinger G., Bergignat E., Joseph J., Robach Y. // J. Vac. Sci. Technol. 1985. V. A3. N 6. P. 2082-2088.
- [4] Juang M.T., Wager J.F., Van Vechten J.A. // J. Electrochem. Soc. 1988. V. 135. N 8. P. 2019-2023.

- [5] Hasegawa H., Ohno H. // J. Vac. Sci. Technol. 1986. V. B4. N 4. P. 1130-1138.
- [6] Akazawa M., Hasegawa H., Ohue E., // Jpn. J. Appl. Phys. 1989. V. 28. N 11. P. L2095-L2097.
- [7] Kodama S., Kouyanagi S., Hashizume T., Hasegawa H. // Jpn. J. Appl. Phys. 1995. V. 34. N 2B. P. 1143-1148.
- [8] Башкин М.О., Емельянов А.В., Портнов С.М., Самсонов Н.С. // Электронная промышленность. 1992. № 1. С. 2-5.
- [9] Pantelidis S.T. // J. Vac. Sci. Technol. 1977. V. 14. N 4. P. 965-967.
- [10] Современные проблемы физической химии поверхности полупроводников. 1988. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние. 238 с.
- [11] Берман Л.С. Универсальная измерительная установка для емкостной спектроскопии полупроводников. Препринт ФТИ, № 974, 1985. 25 с.
- [12] Барабан А.П., Булавин В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 303 с.
- [13] Раков А.В. Спектрофотометрия тонкопленочных полупроводниковых структур. М.: Радио и связь, 1975. 250 с.
- [14] Квантовая химия молекулярных систем и кристаллохимия силикатов. Л.: Наука, 1988. 72 с.

Поступило в Редакцию
16 ноября 1995 г.