

06

Влияние давления на свойства границы раздела Si–стекло

© С.И. Власов, М.А. Эргашева, Т.П. Адылов

Национальный университет Узбекистана, Ташкент

E-mail: vlasov@uzcsi.net

Поступило в Редакцию 10 января 2005 г.

Исследовано влияние всестороннего гидростатического сжатия на энергетическое распределение поверхностных состояний, локализованных на границе раздела полупроводник (Si)–стекло ($\text{PbO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Ta}_2\text{O}_5$). Показано, что при давлениях 8 kbar в слое стекла, прилегающего к полупроводнику, образуется донорный центр, способный обмениваться электронами с полупроводником.

Межфазные границы раздела полупроводник–диэлектрик, сформированные при помощи термического окисления, содержат большое число напряженных или не завершенных валентных связей, в результате чего обладают повышенной чувствительностью к воздействию внешнего давления. Ответственными за изменение свойств границы раздела под воздействием давления могут являться механические напряжения, стимулирующие гетерирование термических дефектов из объема полупроводника, либо примеси, локализованные в переходном слое полупроводник–диэлектрик и взаимодействующие с поверхностными состояниями [1]. Легкоплавкие стекла, нанесенные на поверхность полупроводника при пониженных температурах, уменьшают вероятность образования термических дефектов и снижают механические напряжения границы раздела. Целью настоящей работы являлось исследование всестороннего сжатия на параметры границы раздела — кристаллический кремний–свинцово-боросиликатное стекло.

Использовалось стекло типа $\text{PbO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Ta}_2\text{O}_5$ (PbO — 49%, SiO_2 — 32%, B_2O_3 — 15%, Al_2O_3 — 3% Ta_2O_5 — 1%), нанесенное на поверхность пластин кремния (КЭФ-5 с кристаллографической ориентацией $\langle 111 \rangle$) из мелкодисперсной шихты, с последующим оплавлением ($T = 680^\circ\text{C}$) и отжигом ($T = 470^\circ\text{C}$) [2]. Для создания структур металл–стекло–полупроводник на поверхность стекла и на

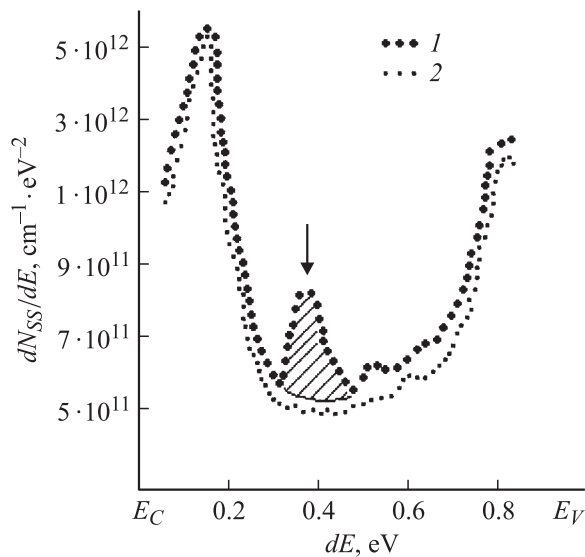


Рис. 1. Энергетическое распределение дифференциальной плотности поверхностных состояний для одной из структур МСП, подвергнутой давлению в 8 kbar (1) и для контрольной структуры (2).

полупроводниковую подложку распылялся алюминий. Площадь (S) управляющего электрода, напыленного на поверхность стекла, составляла 0.2 cm^2 .

Структуры подвергались всестороннему сжатию до 8 kbar на установке „Гидростат“ ЛГ-16. Для исследования использовались методы высокочастотных (1 МГц) вольт-фарадных характеристик и изотермической релаксации емкости [3] структур металл–диэлектрик–полупроводник. При расчете плотности поверхностных состояний использовались соотношения работы [4].

На рис. 1 приведено распределение плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны кремния для одной из структур МСП, подвергнутой давлению в 8 kbar (1) и для контрольной структуры (2). Видно, что в структурах, подвергнутых давлению в спектре dN_{SS}/dE наблюдается локальный максимум вблизи энергии $E_c - 0.39 \text{ eV}$. Согласно существующим представлениям, образование ло-

кальных максимумов в спектре dN_{SS}/dE может быть обусловлено влиянием примесных центров, локализованных в слое объемного заряда полупроводника [6] или в слое стекла, прилегающих к границе раздела полупроводник–стекло [7]. Для определения влияния примесных центров, локализованных в полупроводнике, со структур МСП химическим способом удалялся слой стекла и при помощи вакуумного распыления Au формировался барьер Шоттки. Далее при помощи метода изотермической релаксации емкости определялись концентрация и энергетический спектр глубоких центров. Установлено, что во всех барьерах Шоттки, изготовленных на основе структур, подвергнутых давлению, наблюдается перезарядка центра с энергией ионизации $E_c - 0.4 \text{ eV}$ с концентрацией $N_b = 3 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$. Температурные зависимости постоянных времен релаксации заполнения ($\tau(T)$ -зависимости [3]) для выявленного центра не идентифицируются с известными $\tau(T)$ -зависимостями [3,8,9] (рис. 2). Величина заряда, создаваемого выявленным центром (при условии его однородного распределения по всей толщине области объемного заряда полупроводника), может быть определена как $Q = q \cdot N_b \cdot S \cdot d = 3 \cdot 10^{-11} \text{ C}$. В то же время величина заряда, создаваемая локальным максимумом плотности поверхностных состояний (заштрихованная площадь под кривой 2), составляет величину $Q_{SS} = q \cdot N_{SS} \cdot S \cdot dE = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$. Сравнение этих величин показывает, что глубокий центр с указанной концентрацией не может привести к образованию локального максимума плотности состояний такой величины.

Для оценки влияния зарядов, локализованных в стекле, на плотность поверхностных состояний использовалась температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь для контрольных и подвергнутых давлению структур, измеренная на частоте 1 МГц при обогащающем напряжении 4 В, в интервале температур $-30 - +20^\circ \text{C}$. Сравнение полученных результатов показало, что в контрольных структурах температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь имеет хорошо выраженный релаксационный максимум при $T = -20^\circ \text{C}$, а в структурах, подвергнутых давлению, диэлектрические потери возрастают, а максимум потерь сдвигается в сторону более высоких температур ($T = +5 - +8^\circ \text{C}$). В работе [5] показано, что в аналогичных структурах, подвергнутых давлению, наблюдаются гистерезисные эффекты, и сделано предположение, что ответственными за такое поведение структур являются центры, образовавшиеся в стекле в слоях, прилегающих к

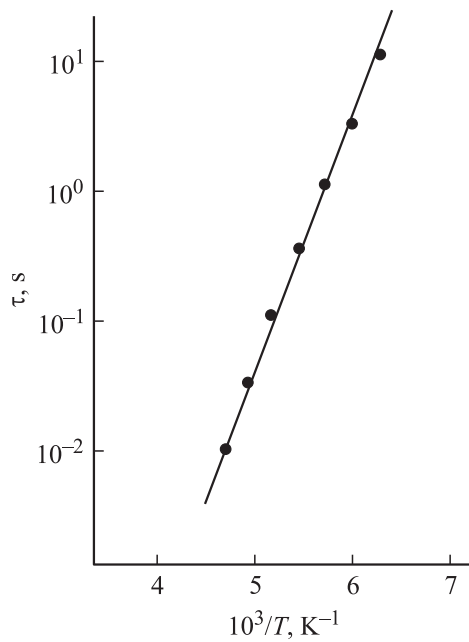


Рис. 2. Температурные зависимости постоянных времен релаксации заполнения для выявленного центра.

полупроводнику. Для проверки сделанных в [5] предположений исследуемые структуры охлаждались до температуры -30°C , после чего к ним прикладывались кратковременные (0.2–0.3 s) импульсы обогащающего напряжения с амплитудой 30–35 V. После окончания воздействия импульсного напряжения к структурам прикладывалось постоянное обогащающее напряжение (+8 V) и температура поднималась до 20°C . При этой температуре снималась вольт-фарадная характеристика и определялось распределение dN_{SS}/dE по ширине запрещенной зоны полупроводника. Сравнение полученных спектров распределения для структур, к которым прикладывались импульсы напряжения, со спектрами, приведенными на рис. 1, показало следующее. После воздействия импульсов обогащающего напряжения амплитуда пика распределения dN_{SS}/dE вблизи энергии $E_c - 0.4\text{ eV}$ уменьшалась в 2–3 раза. Однако

после выдержки структур при $T = 50^\circ\text{C}$ в течение 2 h с приложением обедняющего напряжения (-18 V) спектр распределения плотности поверхностных состояний восстанавливался и принимал вид зависимости на рис. 1. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. Усложнение спектров распределения dN_{SS}/dE в структурах МСП, подвергнутых всестороннему сжатию, обусловлено структурными нарушениями слоев стекла, прилегающих к границе раздела полупроводник–стекло, приводящими к образованию энергетического центра донорного типа, способного обмениваться электронами с полупроводниковой подложкой.

Список литературы

- [1] Парчинский П.Б., Власов С.И. Микроэлектроника. 2001. Т. 30. № 6. С. 466–470.
- [2] Парчинский П.Б., Власов С.И., Тургунов У.Т. Неорганические материалы. 2002. Т. 38. № 6. С. 750–754.
- [3] Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л., 1981. 176 с.
- [4] Gorban A.P., Litovchenko V.G., Peikov P.Ch. // Phys. Stat. Sol. 1973. V. A10. N 1. P. 289–297.
- [5] Власов С.И., Эргашева М.А., Адылов Т.П. Материалы конференции „Фотоэлектрические явления в полупроводниках“. Ташкент, 2004. С. 71–72.
- [6] Власов С.И., Зайнабидинов С.З., Каримов И.Н. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 4. С. 762–764.
- [7] Власов С.И., Парчинский П.Б., Лигай Л.Г. // Микроэлектроника. 2003. Т. 32. № 2. С. 121–123.
- [8] Берман Л.С., Власов С.И., Морозов В.Ф. // Изв. АН СССР. Сер. Физ. 1978. Т. 42. № 6. С. 1175–1178.
- [9] Chen J.W., Milnes A.G. Annual review of materials science. 1980. V. 10. P. 157–228.