Uzbek Journal of Physics
Vol.20(№5) 2018 PP.291-294

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ Si -SiO_2

Х.С. Далиев

Национальный университет Узбекистана, Вузгородок, Ташкент, Узбекистан
dalievkhs@yandex.ru
(Получена 10.02.2018)

CC-DLTS метод ёрдамида Si–SiO_2 ўтувчи қатламининг хусусиятлари ва Si–SiO_2 системасидаги релаксацион жараёнлар ўрганилган. Кремнийли МДЯ-структураларда кетаётган ҳар хил заряд релаксацияси электрон жараёнлари аниқланган.

С помощью метода CC-DLTS изучены свойства переходного слоя Si–SiO_2 и релаксационные процессы в системе Si–SiO_2. Определена схема различных электронных процессов релаксации заряда, происходящих в кремниевых МДП-структурах.

Using the method of CC-DLTS the properties of the Si-SiO_2 transition layer and relaxation processes in the system Si–SiO_2 .are investigated. A scheme of various electronic relaxation processes of the charge occurring in silicon MIS structures is determined.

Несмотря на большое число работ, посвященных изучению свойств МДП-структур, остается еще много не ясного в понимании физических процессов в кремниевых МДП-структурах. Мало изучены свойства переходного слоя Si-SiO_2 и влияние различных внешних воздействий на его свойства, остаются спорными вопросы о его происхождении и распределении дефектов в нем, о его местонахождении. Известно [1-2], что свойства переходного слоя SiO_x определяются, в основном, содержанием кислорода. Например, реактивное катодное распыление Si в магнетронном разряде [3] позволяет наносить пленки SiO_x в широком диапазоне содержания кислорода со статистически однородным распределением связей Si-O и Si-Si [4]. Пленки такого типа могут быть использованы в качестве модели для исследования свойств переходного слоя между кремнием и его термическим окислом, поэтому их изучение представляет особый интерес.

В связи с этим целью данной работы является исследование релаксационных процессов в системе Si-SiO_2. С помощью разработанного нами метода CC-DLTS делается попытка детально изучить свойства переходного слоя Si-SiO_2 и релаксационные процессы в системе Si-SiO_2.

Рассмотрим результаты исследований релаксационных процессов в переходном слое Si-SiO_2 и в целом в системе Si-SiO_2. Для исследований были изготовлены МДП-структуры на химически полированных пластинах *n*-Si с $\rho = 5$ Ом·см и ориентацией в плоскости <111>. На кремниевую подложку после ее окисления на воздухе при 300 К были нанесены слои SiO_x толщиной 1500–3000 Å при давлении 0.5 Па и мощности разряда 100 Вт. Температура Si во время нанесения пленок не превышала 100°C. Содержание кислорода в пленках в пределах $0.8<x<2$ определялось парциальным давлением кислорода.

Релаксационные процессы в системе Si-SiO_2 измеряли с помощью CC-DLTS. На рис. 1 приведены зависимости сигнала CC-DLTS (ΔU) от температуры (T) в

структурах с пленкой $SiO_{1.9}$ при трех разных режимах перезарядки центров. Кривая 1 измерена после перезарядки центров импульсом заполнения с амплитудой U_f = 10 В и длительностью t_f = 0.5 мс и связана с перезарядкой поверхностных состояний (ПС). Максимум при T≈280 К связан с эмиссией электронов из дефектов в переходном слое между Si и тонкой пленкой окисла, которая образуется до плазменного нанесения SiO_x вследствие окисления кремниевой подложки на воздухе [5].

Эти спектры практически не зависят от x. Увеличение U_f и t_f приводит к добавке в ΔU, которая примерно одинакова при 150<T<350 К (кривая 2). Во время эмиссии электронов, когда постоянная емкость C близка к емкости окисла C_{ox} (кривая 3), т.е. когда на поверхности кремния $E_{FS} \approx E_{cs}$ и перезарядки ПС практически не происходит, измеряется только эта добавка к ΔU.

Были измерены спектры CC-DLTS в кремниевых МДП-структурах при разных изгибах зон E_c–E_{FS} (рис. 2). Полученные результаты показали, что при E_c–E_{FS}=0.35 эВ сигнал CC-DLTS не зависит от температуры (кривая E), при E_c–E_{FS} =0.45 эВ на зависимости $\Delta U(T)$ появляется пик вблизи 305 К (кривая D), далее с увеличением изгиба зон амплитуда этого пика растет и его максимум смещается в сторону низких температур. При значении E_c–E_{FS} =0.55 эВ появляется еще один пик вблизи температуры 310 К, при дальнейшем увеличении изгиба зон, максимум этого пика смещается в сторону высоких температур, при этом его амплитуда растет (кривая C). Отметим, что при T≥ 375 К наблюдается отрицательный сигнал CC-DLTS для всех значений изгиба зон.

Для объяснения полученных результатов на рис. 3 приведена схема различных электронных процессов релаксации заряда, которые могут происходить после окончания

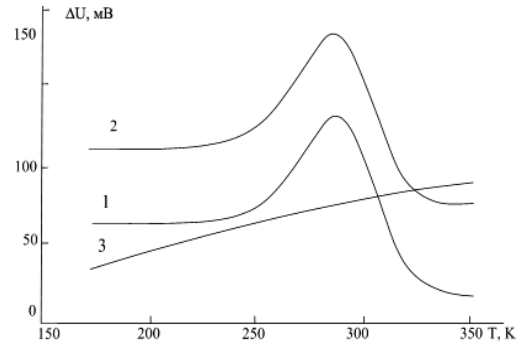


Рис. 1. Спектры CC-DLTS МДП-структуры с диэлектриком состава $SiO_{1.9}$ толщиной 200 нм при трех разных режимах перезарядки центров: C_{ox}=53 пФ; C, пФ: *1*, *2* – 26, *3* – 50; U_f, В: *1* – 10; *2*, *3* – 20; t_f, мс: *1* – 0.5; *2*, *3* – 14.

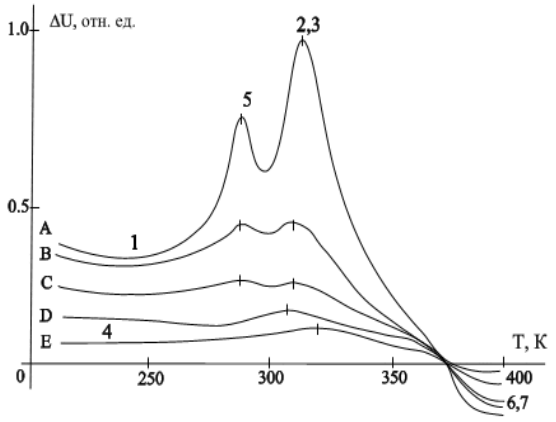


Рис. 2. Схематическое изображение сигнала CC-DLTS для разных процессов релаксации заряда в зависимости от температуры T и изгиба зон E_c–E_{FS} во время релаксации. E_c–E_{FS} эВ: A – 0.75, B – 0.65, C -0.55, D – 0.45, E – 0.35.

воздействия импульса положительной полярности на металлическом электроде МДП-структуры на основе *n*-Si.

Возможными процессами релаксации могут быть (рис. 3):

– эмиссия электронов из поверхностных состояний в Si;

– эмиссия электронов из объемных состояний в Si;

– генерация и накопление неосновных носителей тока (ННТ) и перезарядка поверхностных состояний при захвате ННТ;

– эмиссия электронов из объемных состояний диэлектрика путем туннелирования в зону проводимости Si;

– туннелирование с эмиссией электронов из дефектов переходного слоя состава SiO_x ($0<x<2$);

– релаксация центра заряда (ионов, электронов) внутри SiO_2 (причем центр отрицательного заряда смещается в сторону Si);

– инжекция электронов из металлического электрода и захват их на центры в объеме диэлектрика.

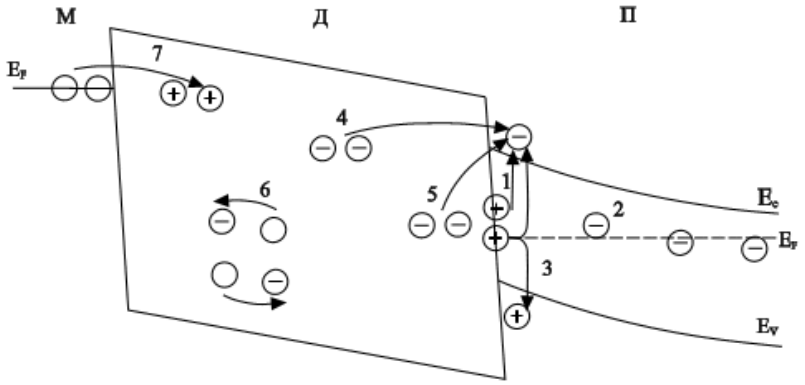


Рис. 3. Процессы релаксации заряда после воздействия импульса положительного напряжения на металлическом электроде кремниевой МДП-структуры.

Вернемся к рис. 2 и детально рассмотрим релаксационные процессы в системе Si-SiO_2. Если на поверхности полупроводника E_{FS} находится близко к E_c, т.е. при $C \approx C_{ox}$, процессы 1-3 не происходят. В этом случае центры в Si и на его поверхности остаются заполненными электронами, и накопления дырок тоже не происходит. Таким образом, наблюдаемая в эксперименте положительная релаксация $\Delta U>0$ при $C \approx C_{ox}$ связана с перезарядкой (4). Какой механизм определяет эту перезарядку, зависит от температуры T и электрического поля E в диэлектрике. Процесс (5) связан с перезарядкой переходного слоя, так как при $E_c - E_{FS}$ = 0.45 эВ на зависимости $\Delta U(T)$ появляется пик вблизи 305 К (кривая D), далее с увеличением изгиба зон амплитуда этого пика растет и его максимум смещается в сторону низких температур. Процессы (6) и (7) приводят к отрицательному сигналу CC-DLTS. Описанные выше измерения проводили при среднем поле $E<106$ В/см. Перезарядки, практически не зависящие от T, при этом условии могут происходить путем туннелирования электронов между зоной проводимости Si и локальными состояниями в SiO_2.

Максимум плотности состояний, наблюдаемый в зависимости $N = f(x)$ при составе $x \approx 1.2$ (рис. 3, *2*) является экспериментальным подтверждением существования порога протекания в SiO_x с самой высокой вероятностью для срыва связей при этом критическом составе. Авторы [6] также показали, что с ростом x в SiO_x при $x \approx 1.2$ ожидается порог протекания, после которого свойства Si резко изменяются от свойств α-Si к свойствам α-SiO_2. Во всей области состава $0<x<2$ длины связей Si-Si и Si-O примерно такие же, как в α-Si и α-SiO_2, но с уменьшением x распределение углов связей Si-O-Si все больше отклоняется от релаксированной конфигурации связей в α-SiO_2. При этом химический состав пленок может влиять на образование локальных дефектов в SiO_x.

ЛИТЕРАТУРА

1. E.N. Nicollian, J.R. Brews, MOS Physics and Technology (Wiley, N.Y., 1982).
2. С.И. Власов, Т.Ш. Алимов, Изв. АН УзССР № 4, 56 (1989).
3. J. Salm, K. Steenbeck, E. Steinbess, Phys. St. Sol.(a) **54**, No.1, K23 (1979).
4. L. Schumann, A. Lehmann, H. Sobotta, Phys. St. Sol.(b) **110**, No.1, K69 (1982).
5. А.А. Лебедев, В. Экке, ФТП **19**, №5, 831 (1985).
6. K. Hubner, Phys. St. Sol.(a) **61**, No.2, K665 (1980).