

УДК 621.315

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОПЛАВЛЕНИЯ ЛЕГКОПЛАВКИХ СТЕКОЛ
НА ИХ ЗАРЯДОВЫЕ СВОЙСТВА И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСИ
В ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЯХ**

Д.В. ВЕЧЕР, В.А. ПИЛИПЕНКО, В.А. ГОРУШКО, В.С. СЯКЕРСКИЙ, Т.В. ПЕТЛИЦКАЯ

*НПЦ "Белмикросистемы" УП "Завод полупроводниковых приборов" НПО "Интеграл"
Корженевского, 12, Минск, 220108, Беларусь**Поступила в редакцию 4 декабря 2007*

Представлены результаты по влиянию процесса оплавления легкоплавких стекол методом быстрой термической обработки (БТО) на их зарядовые свойства и перераспределение примеси в ранее сформированных ионно-легированных слоях. Приведены данные по распределению объемной плотности заряда по толщине пленок фосфоросиликатного (ФСС) и борофосфоросиликатного (БФСС) стекол, а также зависимости поверхностного сопротивления и глубины залегания $p-n$ -перехода от режима оплавления.

Рассмотрены проблемы построения измерительной аппаратуры для проверки тепловизионных приборов. Описаны конструкция, характеристики, а также используемые тест-объекты и методы проверки тепловизионных приборов с помощью разработанного стенда.

Ключевые слова: быстрая термообработка, планаризация рельефа, фосфоро- и борофосфоросиликатное стекло, интегральная схема.

Введение

В настоящее время при производстве интегральных микросхем (ИМС) повышенное внимание уделяется многослойным металлизированным структурам как одному из путей разработки приборов с более высокими уровнями интеграции. В связи с этим ФСС и БФСС находят широкое применение в микроэлектронной технологии для формирования межуровневых диэлектрических слоев при изготовлении интегральных микросхем. Для качественного нанесения металлизации проводится планаризация поверхности ФСС или БФСС путем их термообработки в различных режимах. Так как данный процесс при длительной и быстрой термообработке осуществляется при высоких температурах, то необходимо изучение их влияния на зарядовые свойства легкоплавких стекол и распределение примеси в ранее сформированных ионно-легированных слоях, которые определяют качество формируемых ИМС.

Экспериментальная часть

Для проведения исследований влияния длительной и быстрой термических обработок на зарядовые свойства пленок ФСС и БФСС изготавливались образцы на подложках КЭФ-4,5 диаметром 100 мм. После предварительной химической очистки поверхности кремния проводилось ее термическое окисление до толщины диоксида кремния 300 Å, а затем из паровой фазы при низком давлении осаждались пленки ФСС и БФСС толщиной 0,8–0,9 мкм. Формирование ФСС осуществлялось при температуре $480 \pm 10^\circ\text{C}$ со скоростью осаждения 600 Å/мин и со-

держанием фосфора 10–12 мас.%. Пленки БФСС — при температуре $360\pm 10^\circ\text{C}$ со скоростью осаждения $500 \text{ \AA}/\text{мин}$ и содержанием фосфора $5,9\pm 0,2$ мас.% и бора $2,9\pm 0,1$ мас.%.

Термообработка пленок ФСС и БФСС проводилась на установке быстрой термической обработки в режиме теплового баланса путем их облучения некогерентным светом с нерабочей стороны в диапазоне температур $800\text{--}1100^\circ\text{C}$ при скоростях ее набора 75, 100, $125^\circ\text{C}/\text{с}$. Длительная термическая обработка осуществлялась в диффузионной печи при температуре 1000°C в течение 20 мин для ФСС и при 850°C в течение 45 мин для БФСС.

Далее на пластины напылялся алюминий толщиной 0,55 мкм и фотолитографией формировались квадраты размером 2×2 мм.

Измерение плотности эффективного заряда в пленках ФСС и БФСС осуществлялось на конденсаторах размером 2×2 мм с использованием системы 4061.

Величина поверхностного сопротивления пленок измерялась четырехзондовым методом.

Для исследования влияния процесса оплавления пленок ФСС и БФСС на активацию и перераспределение примесей в ионно-легированных слоях на подложках КЭФ-4,5 и КДБ-4,5 формировался подзатворный окисел толщиной 300 \AA , затем образцы легировались в режимах формирования сток-истоковых областей: КЭФ-4,5 бором с дозой $300 \text{ мкКл}/\text{см}^2$ и энергией 30 кэВ, КДБ-4,5 фосфором с дозой $1000 \text{ мкКл}/\text{см}^2$ и энергией 40 кэВ. Часть пластин подвергалась БТО в диапазоне температур $850\text{--}1050^\circ\text{C}$ при скорости нагрева $100^\circ\text{C}/\text{с}$, другая часть — длительной термической обработке в указанных выше режимах.

Результаты и их обсуждение

Среди параметров диэлектрических пленок особое место занимает параметр, характеризующий наличие в них объемных зарядов, их перераспределение и распад. Это обусловлено тем, что объемные заряды пленок ФСС и БФСС, воздействуя на активную структуру приводят к неконтролируемым изменениям порогового напряжения МОП-транзисторов, пробивного напряжения и тока утечки $p\text{--}n$ -перехода. Известно, что основной причиной возникновения положительных зарядов в оксиде является отсутствие ионов кислорода, являющихся мостиковыми между тетраэдрами $[\text{SiO}_4]^{-4}$. Введение в SiO_2 трехвалентного иона В приводит к замещению им в решетке четырехвалентного иона Si, а следовательно, возникновению положительного заряда. В случае введения пятивалентного Р образуется его ненасыщенная связь, заполняемая ионом О, вызывая тем самым формирование отрицательного заряда. Степень уравниваемости этих процессов определяет различие зарядовых свойств ФСС и БФСС.

Исследование профилей распределения объемных зарядов проводилось методом, изложенным в работе [1, 2]. Их анализ, как показано на рис. 1, свидетельствует о том, что пленки ФСС и БФСС после нанесения обладают положительным объемным зарядом плотностью $(2\text{--}5)\cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Исследование профилей их распределения после БТО в различных режимах показывает, что такая обработка ФСС при $T\geq 1000^\circ\text{C}$ и БФСС при $T\geq 900^\circ\text{C}$ приводит к отжигу зарядов в пленках. При этом для обоих типов пленок более эффективно данный процесс происходит при скорости набора температуры $100^\circ\text{C}/\text{с}$ и ниже, а объемный заряд уменьшается до уровня 10^{16} см^{-3} , что является пределом чувствительности метода контроля. Полученные результаты подтверждают исследования напряжения плоских зон МДМ-структур, которые характеризуют уровень равновесного поверхностного потенциала в кремнии, вызванного нескомпенсированным зарядом на границе раздела. На рис. 2 приведены зависимости напряжения плоских зон от толщины пленок ФСС и БФСС при последовательном их травлении в 3 %-ном растворе плавиковой кислоты. Анализ показывает, что после БТО как величина, так и наклон зависимостей напряжения плоских зон для обоих видов пленок уменьшаются по абсолютной величине, что свидетельствует об отжиге объемных зарядов в пленках ФСС и БФСС.

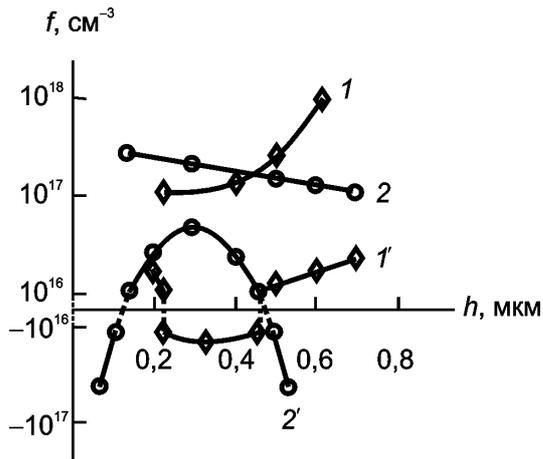


Рис. 1. Распределение объемной плотности заряда по толщине пленок ФСС (1, 1') и БФСС (2, 2') после их нанесения (1, 2) и оплавления (1', 2')

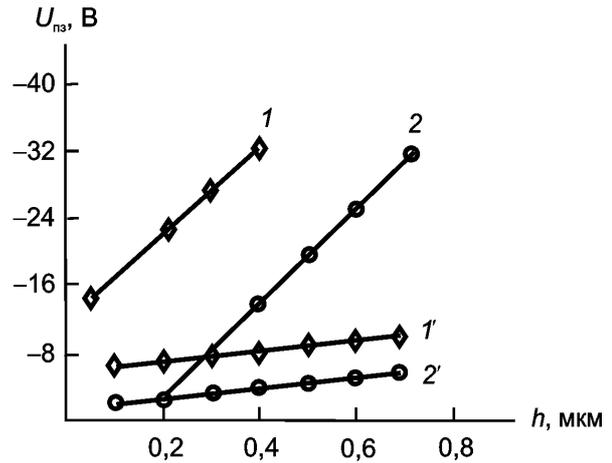


Рис. 2. Зависимость напряжения плоских зон от толщины пленок ФСС (1, 1') и БФСС (2, 2') после их нанесения (1, 2) и оплавления (1', 2')

На основании проведенных исследований зависимостей плотности эффективного заряда в пленках ФСС и БФСС, представленных на рис. 3, можно отметить следующие закономерности.

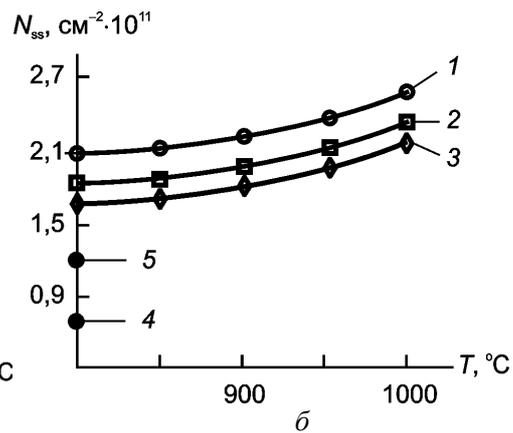
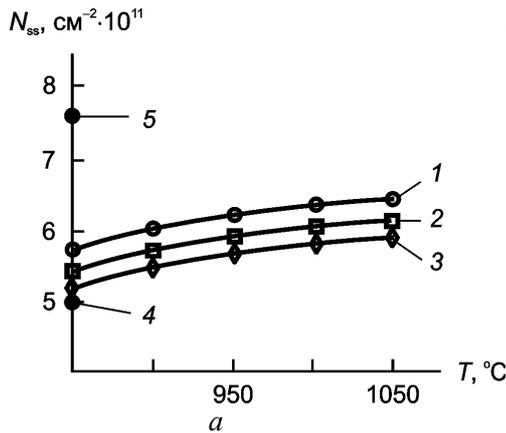


Рис. 3. Зависимость плотности эффективного заряда пленок ФСС (а) и БФСС (б) от температуры БТО при различных скоростях нагрева: 1 — 125°С/с; 2 — 100°С/с; 3 — 75°С/с; 4 — N_{ss} после нанесения; 5 — N_{ss} после обработки при $T=1000^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин

Длительная термическая обработка пленок ФСС при температуре 1000°С в течение 20 мин в среде азота вызывает увеличение плотности эффективного заряда в 1,3 раза. Такая же тенденция наблюдается и при проведении быстрой термической обработки. При этом чем выше температура обработки и скорость ее набора, тем больше величина плотности эффективного заряда, однако она значительно ниже, чем при длительной термической обработке.

Аналогичные закономерности, как показано на рис. 3,б, имеют место и при термической обработке пленок БФСС. Однако в данном случае при всех режимах БТО плотность эффективного заряда увеличивается в 3 раза, что гораздо больше, чем в случае ФСС (1,1–1,3 раза) и термической обработки при 850°С в течение 45 мин в среде кислорода.

Проведенные исследования по влиянию процесса оплавления пленок ФСС и БФСС на активацию и перераспределение легирующих примесей в ранее сформированных активных областях СБИС позволили установить, что величина поверхностного сопротивления, как показано на рис. 4, уменьшается с повышением температуры обработки и снижением скорости нагрева как для слоев, легированных бором, так и для слоев, легированных фосфором. Это означает,

что при всех режимах оплавления БФСС методом БТО в ранее сформированных ионно-легированных слоях происходит интенсивная электрическая доактивация бора и фосфора и она гораздо больше, чем при длительной термообработке. Доактивации примесей при оплавлении ФСС методом БТО и в режиме длительной термообработки сопоставимы. С уменьшением скорости набора температуры происходит некоторое уменьшение поверхностного сопротивления, что связано с увеличением времени обработки, а следовательно и активации примесей.

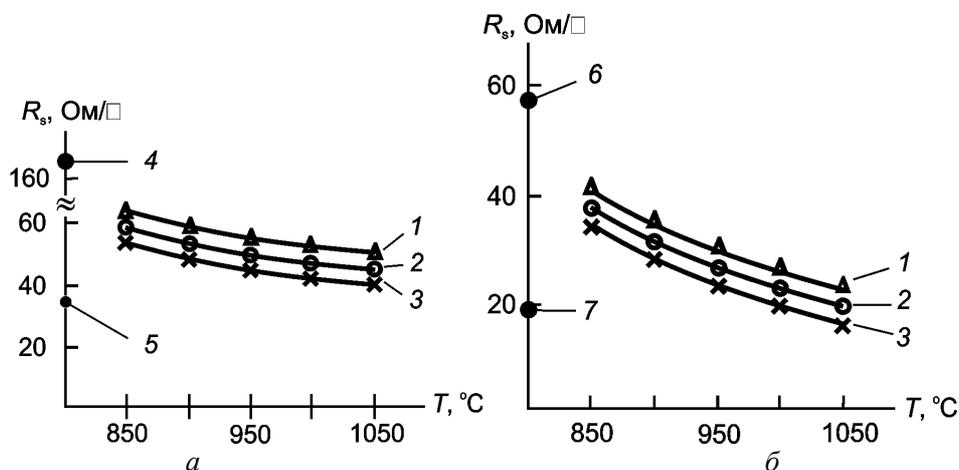


Рис. 4. Зависимость поверхностного сопротивления слоев легированных B^+ (300 мкКл/см^2 , 30 кэВ) (а) и P^+ (1000 мкКл/см^2 , 40 кэВ) (б) от температуры БТО при различных скоростях нагрева: 1 — 125°C/s ; 2 — 100°C/s ; 3 — 75°C/s ; 4 — значение поверхностного сопротивления слоя легированного бором после обработки при 850°C в течение 45 мин; 5 — 1000°C в течение 20 мин; 6 — значение поверхностного сопротивления слоя, легированного фосфором после термообработки при 850°C в течение 45 мин; 7 — 1000°C в течение 20 мин

Исследование глубин залегания p - n -переходов показало, что они увеличиваются с ростом температуры и уменьшением скорости нагрева. Как показано на рис. 5 исходная глубина залегания p - n -перехода до проведения процесса оплавления составляла для фосфора $0,23 \text{ мкм}$ и для бора — $0,25 \text{ мкм}$. Рост температуры БТО от 850 до 1050°C приводит к увеличению глубины залегания p - n -перехода от $0,26$ до $0,35 \text{ мкм}$ для фосфора и от $0,27$ до $0,38 \text{ мкм}$ для бора. Аналогичное повышение температуры при длительной термической обработке вызывает изменение данных величин для фосфора от $0,44$ до $0,61 \text{ мкм}$ и для бора от $0,53$ до $0,69 \text{ мкм}$. Интенсификация диффузионных процессов при БТО значительно меньше, чем при длительной термической обработке, и его величина зависит от плотности энергии фотонной обработки, дозы легирования и определяется удвоением коэффициента диффузии, за счет генерации электронно-дырочных пар под воздействием фотонного потока, что в конечном счете приводит к увеличению глубины залегания p - n -перехода.

Выводы

1. Экспериментально установлено, что быстрая термообработка фосфоросиликатного стекла при температуре $\geq 1000^\circ\text{C}$ и борофосфоросиликатного при температуре $\geq 900^\circ\text{C}$ при скорости их набора не более 100°C/s приводит к отжигу в них объемных зарядов и увеличению плотности эффективного заряда.

2. Применение быстрой термообработки для оплавления фосфоро- и борофосфоросиликатного стекол позволяет увеличить концентрацию электрически активной примеси за счет ее доактивации, в $1,3$ – $1,8$ раза уменьшить ее перераспределение в ранее сформированных ионно-легированных слоях. Диффузия активируется температурой обработки, скоростью ее набора и электрическим полем, возникающим за счет генерации электронно-дырочных пар под воздействием фотонного потока.

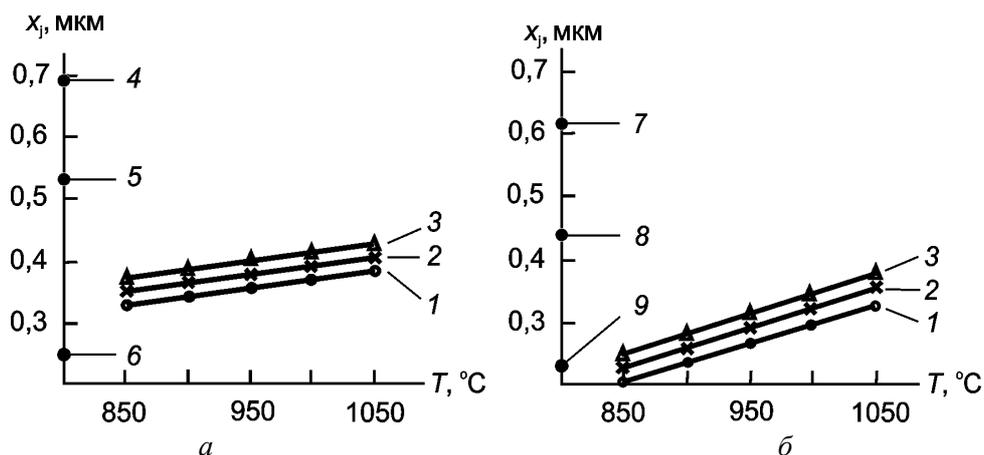


Рис. 5. Зависимость глубины залегания p - n -перехода, сформированного имплантацией B^+ (300 мкКл/см^2 , 30 кэВ) (а) и P^+ (1000 мкКл/см^2 , 40 кэВ) (б), от температуры БТО при различных скоростях нагрева: 1 — $125 \text{ }^\circ\text{C/с}$; 2 — $100 \text{ }^\circ\text{C/с}$; 3 — $75 \text{ }^\circ\text{C/с}$; 4 — глубина залегания p - n -перехода, сформированного легированием бора, после обработки при 1000°C в течение 20 мин; 5 — 850°C в течение 45 мин; 6 — до термообработки; 7 — глубина залегания p - n -перехода, сформированного легированием фосфора, после обработки при 1000°C в течение 20 мин; 8 — 850°C в течение 45 мин; 9 — до термообработки

INFLUENCE OF MELTING PROCESS OF THE EASILY MOLTEN GLASSES ON THEIR CHARGE PROPERTIES AND IMPURITY REDISTRIBUTION IN THE ION-DOPED LAYERS

D.V. VECHER, V.A. PILIPENKO, V.A. GORUSHKO, V.S. SYAKERSKY, T.V. PETLITSKAYA

Abstract

There were represented results on influence of the melting process of the easily-molten glasses by means of the fast thermal treatment method on their charge properties and the impurity redistribution in the earlier formed ion-doped layers. Referred to are the data on distribution of the bulk charge density as per the film thickness of the Phosphorus-silicate (PSG) and Boron Phosphorus-silicate (BPSG) glasses, as well as dependence of the surface resistance and depth location of the p - n -junction on the melting mode.

Литература

1. Чигирь Г.Г., Пилипенко В.А., Стержанов Н.И. // Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Минск, 1984. Ч. 2. С. 119.
2. Пономарь В.Н., Буйко Л.Д., Чигирь Г.Г., Простов И.В. // Технические ВУЗы республики. Минск, 1997. С. 120.