



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГКНТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

- (21) 4819463/25  
(22) 27.04.90  
(46) 07.02.92. Бюл. № 5  
(71) Минский радиотехнический институт  
(72) А.А.Ковалевский  
(53) 621.382(088.8)  
(56) 1.Mercier J. et al. Rapid Isothermal fusion of PSG films. - I. Electrochem. Soc. 1985, v. 132, № 10, p. 2432-2435.  
2.Williams D., Dein E. LPCVD of borophosphosilicate glass from organic reactans. - J. Electrochem. soc., 1987, v.134, № 3, p.657-664.  
3.Alvi N., Kwong D. Reflow of phosphosilicate glass by rapid thermal annealing. - J. Electrochem. Soc. 1986, v.133, № 12, p. 2626-2631.  
(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖСЛОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ  
(57) Изобретение относится к области электронной техники, в частности к технологии

2

оплавления фосфоросиликатного стекла в производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Целью изобретения является улучшение электрофизических параметров фосфоросиликатного стекла и повышение наработки микросхем на отказ за счет сокращения времени задержки при оплавлении. Указанная цель достигается тем, что после осаждения из газовой фазы фосфоросиликатного стекла на кремниевые подложки с топологическим рельефом подложки нагревают световым потоком с плотностью мощности на подложке 25-45 Вт/см<sup>2</sup> в газовой среде, содержащей водород, пары воды и пары борфтористой кислоты. Газовую среду формируют пропусканьем водорода через испаритель с 15-35 мас.%-ным раствором борфтористоводородной кислоты в воде, нагретым до 100°С, а поток водорода поддерживают в интервале 120-200 дм<sup>3</sup>/ч.

Изобретение относится к электронной технике, в частности к технологии сглаживания топологического микрорельефа кремниевых подложек в производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Известен способ хромирования межслойной изоляции, включающий химическое осаждение из газовой фазы (моносилан, фосфин, закись азота, кислород) слоя ФСС на кремниевую подложку с топологическим рельефом под активные и

пассивные элементы с углами ступенек 85-90° и последующее его оплавление в потоке азота при лучистом нагреве подложек галогенными лампами до 1000-1200°С в течение 10-60 с [1].

Недостатком способа является большая длительность задержки оплавления (10-15 с), что вызывает истончение слоя фосфоросиликатного стекла на кромке ступеньки топологического рельефа и, как следствие, снижение пробивных напряжений межслойной изоляции интегральных микросхем.

Известен способ формирования межслойной изоляции, включающий химическое осаждение из паровой фазы (тетраэтоксисилан, триметилборат, триметилфосфат и кислород) слоя ФСС, легированного бором, на кремниевую подложку с топографическим рельефом под активные и пассивные элементы с углами ступенек  $85-90^\circ$  и последующее его оплавление в потоке аргона при температуре подложек  $900-950^\circ\text{C}$  в течение 30 мин [2].

Недостатком способа является длительная высокотемпературная обработка кремниевых подложек со сформированными в них активными и пассивными элементами интегральных микросхем, которая может вызвать нежелательные изменения их параметров.

Известен способ формирования межслойной изоляции, включающий химическое осаждение из газовой фазы (моносилан, фосфин, азот и кислород) слоя ФСС с концентрацией  $\text{P}_2\text{O}_5$  в стекле 3,0–8,5 мас. % на кремниевую подложку с топографическим рельефом, имеющим углы ступенек  $85-90^\circ$ , и последующее оплавление ФСС в потоке азота, насыщенного парами воды, при скорости потока через кипящую воду  $4 \text{ дм}^3/\text{мин}$  и лучистом нагреве подложек до  $1000-1300^\circ\text{C}$  в течение 1–70 с [3].

Недостатками известного способа являются сильная зависимость процесса оплавления ФСС от концентрации  $\text{P}_2\text{O}_5$  в нем, низкие пробивные напряжения и высокие токи утечки оплавленного слоя стекла.

Целью изобретения является улучшение электрофизических параметров изоляции и повышение ресурса работы за счет сокращения времени задержки при оплавлении.

Сущность изобретения заключается в том, что отжиг ФСС проводят в газовой среде, содержащей ионы водорода, фтора и бора. Они внедряются в структурную сетку ФСС и способствуют образованию протяженных линейных структур каркаса ФСС. В этом случае в углах тетраэдров  $\text{SiO}_4$  между ионами водорода, фтора, бора и кислорода образуются прямые ковалентные связи. Высокая электроотрицательность фтора и бора, низкая степень ковалентности связей в этих ионах, низкая валентность водорода и фтора обеспечивают протяженную линейную структуру каркасу ФСС и ослабляют химические связи, что способствует уменьшению вязкости стекла, улучшению смачиваемости и растекаемости его по подложке, снижению вероятности образования пор и трещин. Все это способствует улучшению электрофизических параметров ФСС и ин-

тегральных микросхем в целом. Указанные преимущества по сравнению с известным достигаются за счет оплавления ФСС в потоке водорода, который пропускают через испаритель с 15–35 мас. %-ным раствором борфтористоводородной кислоты в воде, нагретым до  $100^\circ\text{C}$ , поток водорода поддерживают в интервале  $120-200 \text{ дм}^3/\text{ч}$ , а нагрев кремниевых подложек осуществляют световым потоком с плотностью мощности на подложке  $25-45 \text{ Вт}/\text{см}^2$ .

Использование в качестве газа-носителя водорода, который пропускают через 15–35 мас. %-ный раствор борфтористоводородной кислоты в воде, нагретый до  $100^\circ\text{C}$ , а поток водорода поддерживают в интервале  $120-200 \text{ дм}^3/\text{ч}$ , обеспечивает необходимый состав газовой среды оплавления, содержащий водород, пары воды и борфтористоводородной кислоты.

Нагрев подложек световым потоком с плотностью мощности на подложке  $25-46 \text{ Вт}/\text{см}^2$  позволяет вызвать фотохимическую реакцию диссоциации молекул борфтористоводородной кислоты на ионы фтора, бора и водорода, а также обеспечить нагрев подложек до  $850-1300^\circ\text{C}$ .

Снижение процентного содержания борфтористоводородной кислоты меньше 15 мас. % в растворе не обеспечивает поток водорода тем количеством уносимой в зону реактора кислоты, диссоциация молекул которой создает достаточное количество ионов фтора, бора, водорода, чтобы сформировался протяженный линейный каркас легкоплавкого ФСС, отличающегося малой вязкостью, хорошей текучестью и хорошей смачиваемостью кремниевых подложек. По той же причине нецелесообразно уменьшение скорости потока водорода через испаритель меньше  $120 \text{ дм}^3/\text{ч}$ .

Снижение плотности мощности светового потока меньше  $25 \text{ Вт}/\text{см}^2$  не обеспечивает диссоциации молекул кислоты на ионы фтора, бора и водорода, а выполняет лишь функцию нагрева подложек. В этом случае не реализуется эффект образования линейного каркаса ФСС, а следовательно, не достигается та температура вязкотекучего состояния стекла, при котором время задержки при оплавлении достигает минимального значения – 0,5 с.

Увеличение процентного содержания борфтористоводородной кислоты больше 35 мас. % в растворе так же, как и увеличение скорости потока водорода через объем испарителя свыше  $200 \text{ дм}^3/\text{ч}$ , приводит к избыточному количеству ионов фтора и бора в газовой среде, способному вызвать кристаллизацию ФСС и разделение фаз. Такое

явление нарушает структурное совершенство слоев ФСС, так как в них появляются кристаллические включения, поры, трещины, разнотолщинность, что отрицательно сказывается на величине напряжения электрического пробоя и токов утечки.

Увеличение плотности мощности светового потока больше  $45 \text{ Вт/см}^2$  увеличивает температуру подложек выше  $1300^\circ\text{C}$ , что приводит к интенсивному испарению  $\text{P}_2\text{O}_5$  из ФСС, увеличению плотности пор и трещин в оплавленном слое ФСС, а следовательно, к снижению качества и надежности интегральных микросхем.

**П р и м е р.** Запущено три серии кремниевых подложек по шесть партий подложек в серии и по шестьдесят подложек в партии. В качестве подложки используют пластины кремния КЭФ 4,5 диаметром 100 мм с ориентацией по плоскости {100}.

Все подложки проведены по базовому технологическому маршруту изготовления микросхем К 1824, включающему операции термического окисления кремния, имплантацию ионов фосфора, мышьяка и бора, химического осаждения из паровой фазы при низком давлении пленок поликристаллического кремния, нитрида кремния и нелегированного оксида кремния, создания методом плазменного травления ступенек высотой  $0,7 \pm 0,1 \text{ мкм}$  с углами  $85\text{--}90^\circ$ , осаждения слоя ФСС толщиной  $0,8 \pm 0,2 \text{ мкм}$  с содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$ : в первой серии подложек 2,0 мас. % во второй 4,0 мас. % и в третьей 6,0 мас. % методом химического осаждения из газовой фазы при низком давлении ( $40 \pm 5 \text{ Па}$ ), температуре подложек  $430 \pm 10^\circ\text{C}$  и использовании 10 об. % смесей моносилаана с аргоном и фосфина с аргоном и 23 об. % смеси кислорода с аргоном.

На пяти партиях каждой серии подложек дальнейшей операцией является оплавление ФСС, затем создание металлизации, вскрытие контактных окон к нижнему уровню разводки и формирование верхнего уровня разводки из алюминия, а на шестой партии из каждой серии подложек – оплавление слоя ФСС по условиям известного способа в потоке азота, насыщенного парами воды, при скорости потока  $4,0 \text{ дм}^3/\text{мин}$ , далее создание металлизации, вскрытие контактных окон к нижнему уровню разводки и формирование верхнего уровня разводки из алюминия.

Оплавление слоев ФСС как по предлагаемому, так и по известным способам осуществляют в реакторе установки лучистого нагрева типа "Эликвар 122". Нагрев осуществляется от галогенных ламп КГ-220-1000-

3. Транспорт парогазовой смеси в зону расположения подложек осуществляют путем пропускания водорода (предлагаемый) и азота (известный) через испаритель типа тюльпан с захватом паров из объема испарителя. Емкость испарителя  $2,5 \text{ дм}^3$ , площадь сечения  $32 \text{ см}^2$ . Испарители термостатированы и откалиброваны при  $100^\circ\text{C}$  на соответствующий расход паров воды и паров раствора борфтористоводородной кислоты. Используют деионизованную воду с сопротивлением 20 МОм. 40 мас. %-ную борфтористоводородную кислоту, на основе которой готовят растворы в деионизованной воде, мас. %: 14, 15, 25, 35, 37. Захват паров кислоты осуществляют потоком водорода,  $\text{дм}^3/\text{ч}$ : 118, 120, 200, 205.

Инициирование фотохимической реакции диссоциации молекул борфтористоводородной кислоты до ионов фтора, бора и водорода и нагрев подложек до  $840, 850, 1000, 1300, 1320^\circ\text{C}$  осуществляют лучистым нагревом световым потоком с плотностью мощности на подложке 24,5, 25, 30, 45, 46  $\text{Вт/см}^2$  соответственно.

После отжига слоя ФСС отключают лучистый нагрев и подача газов через испаритель, реактор продувает азотом, а затем разгружается. Далее выбираются подложки-спутники для определения плотности пор, трещин, толщины слоя, угла оплавления, а остальные подложки с активными и пассивными элементами направляются на формирование металлизации, после чего опять выбираются подложки-спутники, на которых оценивают разрывы алюминиевой металлизации. Остальные подложки передают на последующие операции в соответствии с маршрутом изготовления микросхем К 1824.

После сборки в корпус микросхемы проверяются на ресурс наработки на отказ, для чего они помещаются в термобаровлагокамеру при влажности 100%, температуре  $100^\circ\text{C}$  и давлении 2,2 ати. После заданной выдержки на них оцениваются величина пробивного напряжения, токи утечки и длительность наработки на отказ.

Толщина слоев ФСС, угол оплавления кромок ступенек и обрыв металлизации оцениваются по специальным сколам и косым шлифам, выполненным под углом  $1^\circ$  с использованием растровой электронной микроскопии. Наличие пор и трещин в слоях ФСС устанавливается медно-желатиновым методом. Время задержки при оплавлении слоев ФСС оценивается с помощью дериватометрии с шагом подъема температуры оплавления  $2,5^\circ\text{C}$  и с помощью поверхностного профилометра. Пробивное

напряжение слоев ФСС после оплавления и микросхем после выдержки в термобарокамере и токи утечки оцениваются на установке ИППЛ-2-56.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что по сравнению с известным предлагаемый способ позволяет существенно улучшить электрофизические параметры межслойной изоляции, снизить на порядок плотность пор и трещин, вдвое увеличить пробивные напряжения, существенно уменьшить количество обрывов металлизации и увеличить наработку микросхем на отказ на 1800–3500 ч. Указанные преимущества реализуются за счет сокращения времени задержки при оплавлении с 2–3 с (известный) до 0,4–0,5 с (предлагаемый).

Благодаря повышению структурных качеств оплавленного слоя ФСС и сокращению времени задержки при оплавлении ФСС появляется возможность уменьшения геометрических размеров элементов тонкопленочных интегральных микросхем, что актуально для повышения степени интеграции и стойкости СБИС к спецвоздействиям. Дополнительным преимущест-

вом изобретения является повышение стойкости интегральных микросхем к воздействию влаги.

5 Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я  
Способ формирования межслойной изоляции в производстве интегральных микросхем, включающий осаждение слоя фосфоросиликатного стекла с содержанием  $P_2O_5$  до 8,5 мас. % из газовой фазы на кремниевые подложки с топологическим рельефом, нагрев подложек световым потоком и оплавление фосфоросиликатного стекла в потоке газа-носителя и паров воды в течение 1–70 с, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью улучшения электрофизических параметров изоляции и повышения ресурса работы за счет сокращения времени задержки при оплавлении, нагрев подложек осуществляют световым потоком с плотностью мощности на подложке 25–45 Вт/см, в качестве газа-носителя используют водород, который пропускают через 15–35 мас. %-ный раствор борфтористоводородной кислоты в воде, нагретой до 100°C, а величину потока водорода поддерживают в интервале 120–200  $dm^3/ч$ .

30

35

40

45

50

Редактор И.Шулла

Составитель Л.Хитрова  
Техред М.Моргентал

Корректор М.Демчик

Заказ 346

Тираж

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул.Гагарина, 101