

Исследование дефектности изоляции и зарядовой дефектности подзатворного диэлектрика МДП-структур с Al и жидкими электродами

77-30569/332441

03, март 2012

Драч В. Е., Чухраев И. В.

УДК 621.382

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

drach@kaluga.org

igor.chukhraev@mail.ru

Введение

Современный этап развития производства интегральных схем (ИС) характеризуется широким использованием структур Si-SiO₂ и создаваемых на их основе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Повышение функциональной сложности и степени интеграции МДП-ИС выдвигает новые, более жесткие, требования к их качеству и надежности, которые в значительной степени определяются качеством подзатворного диэлектрика, на долю которого приходится до 50 % отказов схем.

Качество подзатворного диэлектрика обеспечивается как выбором методов его получения и технических средств их осуществления, так и настройкой операций технологического процесса, реализуемых при помощи выбранных методов и оборудования. Управление же операциями возможно на базе информации о временном изменении параметров зарядового состояния и зарядовой дефектности подзатворного диэлектрика в сильных электрических полях, позволяющей определить вклад каждой операции в формирование уровня его качества. Такая информация дает возможность выявить наиболее критичные операции и обеспечивает выбор обоснованных решений по совершенствованию технологического процесса. Однако традиционное использование затвора в виде токопроводящей пленки значительно снижает оперативность управления, так как МДП-структура может быть получена только после проведения операции металлизации. В связи с этим, большой интерес представляет применение в качестве затвора МДП-структур жидкого электрода.

Целью работы является исследование и сравнительная оценка дефектности изоляции и зарядовой дефектности подзатворного диэлектрика МДП-структур с Al и жидкими электродами.

Образцы и методика эксперимента

Исследовалась пленка SiO₂-ФСС, изготовленная в заводских условиях на пластинах КЭФ-4,5 кристаллографической ориентацией <100>. Двуокись кремния толщиной 100 нм получали термическим окислением кремния в сухом кислороде при температуре 1000 °С с добавлением 3 % HCl. Пленку фосфорно-силикатного стекла (ФСС) формировали диффузией фосфора из газовой фазы путем пиролиза смеси POCl₃-O₂ при температуре 900 °С. Затем пластины отжигались в атмосфере азота при температуре 1000 °С. Для получения МДП-структур с Al электродом напыляли алюминиевую пленку толщиной 1,2 мкм магнетронным методом, после чего, используя фотолитографию, формировали электроды площадью 10⁻² см² и удаляли окисел с обратной стороны пластины. Послеметаллический отжиг проводили при температуре 475 °С в среде азота. МДП-структуры с жидким электродом формировались с помощью специального зонда [1] на открытых участках поверхности пленки SiO₂-ФСС в промежутках между Al электродами. В качестве жидкометаллического электрода использовались ртуть, эвтектическое соединение галлия с индием и электролитический раствор серной кислоты. Для обеспечения адекватности режимов исследования и сопоставимости получаемых результатов площади жидких электродов подбирались равными площади Al электродов и составляли ~ 10⁻² см².

Исследования проводились методом управляемой токовой нагрузки [2, 3], заключающимся в изменении амплитуды и полярности токовой нагрузки, прикладываемой к МДП-структуре по специальному алгоритму, и измерении временной зависимости напряжения на образце $U_I(t)$ (рис. 1), на автоматизированной установке инжекционных испытаний (АУИИ) [4].

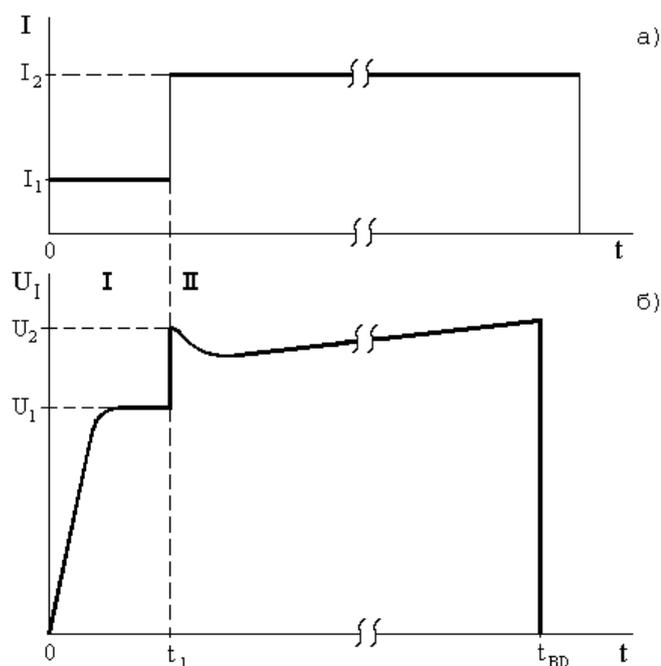


Рис. 1. Диаграмма изменения токовой нагрузки (а) и временная зависимость изменения напряжения на МДП-структуре (б)

Для оценки качества подзатворного диэлектрика использовались результаты статистических измерений напряжения микропробоя $U_{МП}$ и заряда, инжектированного в диэлектрик МДП-структур до их пробоя Q_{inj}^{BD} [5].

За напряжение микропробоя $U_{МП}$, характеризующее дефектность изоляции подзатворного диэлектрика, принималось напряжение U_1 , при котором ток зарядки МДП-емкости станет равным нулю (рис. 1, б) и через диэлектрик будет протекать лишь инжекционный ток.

Заряд, инжектированный до пробоя Q_{inj}^{BD} , характеризует зарядовую дефектность в условиях инжекции носителей, т.е. инжекционную стойкость МДП-структур – способность выдерживать инжекцию носителей в сильных электрических полях. Его величина определялась из выражения:

$$Q_{inj}^{BD} = J_1 \cdot t_1 + J_2 \cdot (t_{BD} - t_1) - C_i \cdot U_2,$$

где J_1 – плотность инжекционного тока, пропускаемого через МДП-структуру на участке I; J_2 – плотность инжекционного тока, пропускаемого через МДП-структуру на участке II; t_{BD} – время пробоя МДП-структуры; t_1 – момент времени переключения импульса тока с амплитуды I_1 на I_2 (рис. 1); C_i – удельная емкость МДП структуры.

Плотности тока инжекции на участках I и II (рис. 1) составляли $J_1=10^{-7}$ А/см² и $J_2=10^{-4}$ А/см², соответственно, а полярность токовой нагрузки обеспечивала сильнополевую туннельную по Фаулеру-Норгейму инжекцию электронов из кремниевой подложки.

Результаты и обсуждение

Совмещенные гистограммы распределения МДП-структур с Al и жидкими электродами по напряжению микропробоя и заряду, инжектированному до пробоя, приведены на рис. 2.

Как видно из рис. 2 гистограммы распределения структур по напряжению микропробоя как для случая Al, так и жидких электродов имеют аналогичный характер и 90 % образцов попадают в главный пик распределения. Сравнение гистограмм распределения структур по заряду, инжектированному до пробоя, показывает, что большая часть структур, независимо от материала затвора, имеет Q_{inj}^{BD} в диапазоне $10^{-4} \div 10^{-2}$ Кл/см², при этом главный пик гистограмм располагается в пределах $10^{-3} \div 10^{-2}$ Кл/см². Высоты главного пика гистограмм зарядовой стабильности $H = \Delta N/N$ для МДП-структур с Al электродом и жидкими электродами на основе Hg и эвтектического соединения InGa близки между собой $\Delta H = 0,02 \div 0,03$ (рис. 2,а,б,в). Применение в качестве материала жидкого электрода МДП-структур электролитического раствора H₂SO₄ [6] приводит к некоторому уменьшению доли структур, имеющих $Q_{inj}^{BD} > 10^{-3}$ Кл/см² и увеличению количества структур с $Q_{inj}^{BD} < 10^{-4}$ Кл/см², что выражается в снижении высоты главного пика по сравнению со структурами Si-SiO₂-ФСС-Al $\Delta H = 0,1$ (рис. 2,а,г).

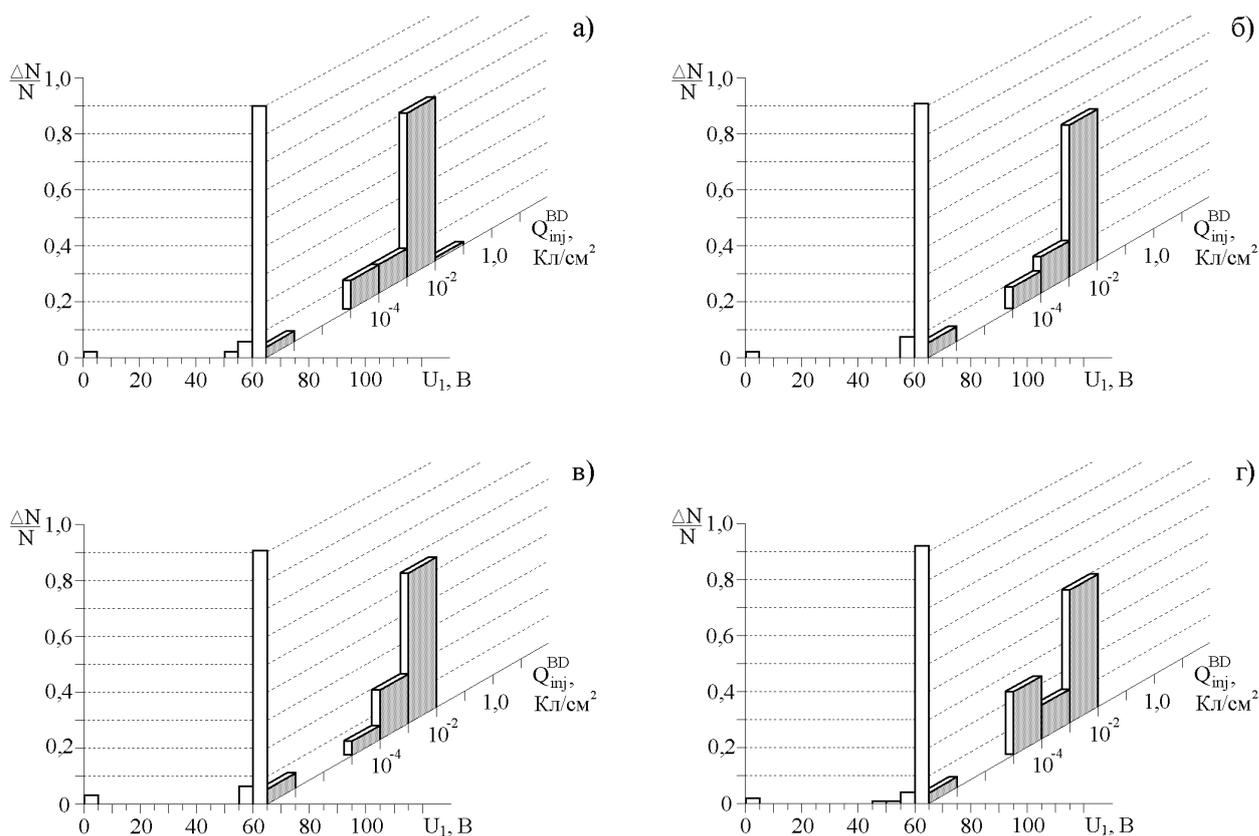


Рис. 2. Совмещенные гистограммы распределения по напряжению микропробоя и заряду, инжектированному до пробоя, МДП-структур с подзатворным диэлектриком SiO₂-ФСС и различными материалами верхнего электрода: (а) – Al; (б) – Hg; (в) – эвтектическое соединение InGa; г) – электролитический раствор H₂SO₄

На основе полученных результатов проводилась сравнительная оценка дефектности изоляции и зарядовой дефектности пленки SiO₂-ФСС МДП-структур с Al и жидкими электродами.

Важной характеристикой МДП-структур является инжектированный заряд, при котором начинаются заметные изменения плотности поверхностных состояний и заряда в подзатворном диэлектрике, то есть начинается деградация электрофизических характеристик диэлектрика и границы раздела. В дальнейшем данный заряд будем называть Q_{inj}^{deg} – инжектированный заряд до начала деградации. Для исследуемых МДП-структур Q_{inj}^{deg} составлял 0,75 мКл/см².

На основе анализа совмещенных гистограмм МДП-структуры для удобства сравнения по характеру дефектности были разделены на следующие группы:

I – структуры, имеющие напряжение микропробоя меньше напряжения питания;

II – структуры, не попадающие в главный пик гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя;

III - структуры из главного пика гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя, у которых $Q_{inj}^{BD} < Q_{inj}^{deg}$;

IV - структуры из главного пика гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя, у которых $Q_{inj}^{BD} > Q_{inj}^{deg}$.

В таблице представлено процентное содержание МДП-структур с различными материалами верхнего электрода, относящихся к каждой из групп дефектности, и средний заряд, инжектированный до пробоя \bar{Q}_{inj}^{BD} , для структур IV группы дефектов.

Сравнительная оценка дефектности МДП-структур с подзатворным диэлектриком SiO₂-ФСС и различными материалами верхнего электрода

Материал верхнего электрода МДП-структур	Количество дефектов в группах, %				\bar{Q}_{inj}^{BD} , мКл/см ²
	I	II	III	IV	
Al	2	8	19	71	6,24
Hg	2	7	21	70	5,62
Эвтектическое соединение InGa	3	6	18	73	5,96
Электролитический раствор H ₂ SO ₄	2	6	31	61	2,49

Как видно из таблицы, применение в качестве материала верхнего электрода МДП-структур Hg и эвтектического соединения InGa практически не оказывает влияния на результаты оценки качества исследованной пленки SiO₂-ФСС, которые хорошо коррелируют с результатами, полученными для структур Si-SiO₂-ФСС-Al. В случае использования электролитического раствора серной кислоты наблюдается снижение процента МДП-структур, имеющих $Q_{inj}^{BD} > Q_{inj}^{deg}$, и, следовательно, повышение зарядовой дефектности, что приводит к неадекватности результатов по сравнению с другими рассмотренными электродами.

Выводы

1. Получены статистические распределения МДП-структур с подзатворным диэлектриком SiO₂-ФСС и различными материалами верхнего электрода по напряжению микропробоя и заряду, инжектированному до пробоя.

2. Установлена корреляция между результатами оценки дефектности подзатворного диэлектрика при использовании МДП-структур с Al и жидкими электродами на основе Hg и эвтектического соединения InGa.

3. Показана принципиальная возможность использования МДП-структур с жидкими электродами на основе Hg и эвтектического соединения InGa для оперативного получения информации о дефектности изоляции и зарядовой дефектности подзатворного диэлектрика после проведения отдельных технологических операций его формирования до операции металлизации.

Список литературы

1. Бондаренко Г.Г., Чухраев И.В. Формирование структур металл-диэлектрик-полупроводник с жидкометаллическим электродом // Вакуумная наука и техника: Матер. Восьмой науч.-техн. конф. с уч. зарубеж. спец. Москва-Судак, 2001. С. 157-160.

2. Андреев В.В., Барышев В.Г., Столяров А.А. Инжекционные методы исследования и контроля структур металл-диэлектрик-полупроводник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 256 с.

3. Исследование зарядовой деградации МДП-структур в сильных электрических полях методом управляемой токовой нагрузки / В.В. Андреев [и др.] // Микроэлектроника. 2000. Т. 29, № 2. С. 105-112.

4. Драч В.Е., Лоскутов С.А., Чухраев И.В. Автоматизированная установка для исследования параметров диэлектрических слоев МДП-структур // Приборостроение-2001: Сб. тр. Межд. науч.-техн. конф. Винница-Симеиз, 2001. С. 20.

5. Зарядовая дефектность диэлектрических слоев МДП-структур / Г.Г. Бондаренко [и др.] // Физика и химия обработки материалов. 2001. № 4. С. 94-99.

6. Бондаренко Г.Г., Чухраев И.В. Системы электролит-диэлектрик-полупроводник при инжекционных исследованиях зарядовой нестабильности диэлектрических пленок // 1-ая Российская конф. молодых ученых по физическому материаловедению: Сб. тез. докл. Калуга, 2001. С. 107-108.

Research of insulation defects and charge defects of gate dielectric of MOS structure with Al and liquid electrodes

77-30569/332441

03, March 2012

Drach V.E., Chuhraev I.V.

Bauman Moscow Technical University, Kaluga Branch

drach@kaluga.org

igor.chukhraev@mail.ru

In this article the authors present the results of statistic measurements of the injection voltage and the charge-to-breakdown injected into a gate dielectric. MOS structures with different materials of the upper electrode were used as experimental samples. The authors propose comparative estimation of insulation defects and charge defects of SiO₂-PSG film of MOS structures with Al and liquid electrode. The MOS structures with liquid electrodes, based on Hg and InGa eutectic compound appeared to be a good test for investigation of gate dielectric quality before production operation of metallization.

Publications with keywords: [gate dielectric](#), [liquid electrode](#)

Publications with words: [gate dielectric](#), [liquid electrode](#)

References

1. Bondarenko G.G., Chukhraev I.V. Formirovanie struktur metall-dielektrik-poluprovodnik s zhidkometallicheskim elektrodom [The formation of metal-insulator-semiconductor structures with a liquid-metal electrode]. "Vakuumnaia nauka i tekhnika". Mat. 8 nauch.-tekhn. konf. ["Vacuum Science and Technology". Proc. 8th sci.-tech. conf.]. Moscow-Sudak, 2001, pp. 157-160.
2. Andreev V.V., Baryshev V.G., Stoliarov A.A. Inzhetsionnye metody issledovaniia i kontroliia struktur metall-dielektrik-poluprovodnik [Injection methods of investigation and control of metal-insulator-semiconductor]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004. 256 p.
3. Andreev V.V., Baryshev V.G., Bondarenko G.G., Stoliarov A.A., Shakhnov V.A. Issledovanie zariadovoi degradatsii MDP-struktur v sil'nykh elektricheskikh poliakh metodom upravliaemoi tokovoi nagruzki [Investigation of the charge degradation of MOS structures in strong electric fields by the method of controlled current load]. *Mikroelektronika*, 2000, vol. 29, no. 2, pp. 105-112.

4. Drach V.E., Loskutov S.A., Chukhraev I.V. Avtomatizirovannaiia ustanovka dlia issledovaniia parametrov dielektricheskikh sloev MDP-struktur [An automated system for investigating the parameters of the dielectric layers of MOS structures]. *“Priborostroenie-2001”. Trudy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [“Instrumentation-2001”. Proc. Int. sci.-tech. conf.]. Vinnitsa-Simeiz, 2001, p. 20.

5. Bondarenko G.G., Andreev V.V., Stoliarov A.A., Tkachenko A.II. Zariadovaia defektnost' dielektricheskikh sloev MDP-struktur [Charge deficiency of the dielectric layers of MOS structures]. *Fizika i khimiia obrabotki materialov*, 2001, no. 4, pp. 94-99.

6. Bondarenko G.G., Chukhraev I.V. Sistemy elektrolit-dielektrik-poluprovodnik pri inzhetsionnykh issledovaniiaakh zariadovoi nestabil'nosti dielektricheskikh plenok [Systems electrolyte-insulator-semiconductor in injection investigations of charge instability of dielectric films]. *1 Ros. konf. mol. uchenykh po fizicheskomu materialovedeniiu. Tez. dokl.* [1st Rus. Young Sci. Conf. on Physical Materials Science. Abstr.]. Kaluga, 2001, pp. 107-108.