УДК 621.793

DOI: 10.36845/2073-8250-2019-255-4-35-42

КОНТРОЛЬ ПОР И ПРОВОДЯЩИХ ОБЛАСТЕЙ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЁНКАХ

Ю.А. Концевой, В.И. Корнеев, Б. К. Медведев

АО «НПП «Пульсар», 105187, Москва, Окружной пр., д. 27

Приведена конструкция устройства, позволяющего снимать вольт-амперные характеристики пористых плёнок, созданных на поверхности полупроводниковых и металлических пластин. Измерены ВАХ плёнок Al_2O_3 различной толщины, полученных методом атомно-слоевого нанесения. Исследованы проводящие участки в различных диэлектрических плёнках с высокой разрешающей способностью.

Ключевые слова: аппаратура для контроля пористости диэлектрических плёнок, ВАХ системы «металл-электролит-поры в плёнках-металл», участки плёнок с повышенной электропроводностью

Сведения об авторах: Концевой Юлий Абрамович, д.т.н., профессор, kontsevoj@pulsarnpp.ru; Корнеев Вячеслав Игоревич; Медведев Борис Константинович, д.т.н., профессор

INSPECTION OF PORES AND CONDUCTIVE REGIONS IN DIELECTRIC FILMS

Yu.A. Kontsevoy, V.I. Korneev, B.K. Medvedev

S&PE Pulsar JSC, 105187, Moscow, Okružhnoy Pr., 27

This paper presents the design of a device for reading the current-voltage characteristic of porous films, deposited on the surface of semiconducting and metal wafers. We measured CVC of Al_2O_3 films of various thicknesses, created by the atomic layer deposition, and performed high resolution investigation of conductive regions in different dielectric films.

Keywords: equipment for inspecting the porosity of dielectric films, CVC of the “metal-electrolyte-pores in films-metal” structure, regions of films with increased conduction

Authors: Kontsevoy Yuly Abramovich, Sc.D., Professor, kontsevoj@pulsarnpp.ru; Korneev Vyacheslav Igorevich; Medvedev Boris Konstantinovich, Sc.D., Professor

Введение

Диэлектрические плёнки (диоксид кремния, нитрид кремния или аналогичные), создаваемые на поверхности полупроводниковых пластин или металлических плёнок, покрывающих поверхность полупроводниковых пластин, могут содержать дефекты в виде сквозных пор. Такие поры микрометровых или субмикрометровых размеров приводят к браку при создании затворов полевых транзисторов, интегральных микросхем или ёмкостей «металл-диэлектрик-металл» [1].

Для контроля дефектов диэлектрических плёнок в виде сквозных пор применялся так называемый электрографический метод. Сущность устройства для реализации указанного метода заключается в следующем [2, 3]. Пластина кремния накрывается поверх диэлектрической плёнки, смоченной в проявителе, в качестве которого применяется перенасыщенный раствор гидрохинона, фотобумагой, на которую помещают металлический электрод с положительным потенциалом относительно кремниевой пластины. На фотобумаге в местах её соприкосновения с отверстием в окисле идёт реакция восстановления водородом бромистого серебра до металла («засветка» фотослоя), что проявляется в виде увеличенных чёрных точек, соответствующих расположению пор в окисле. Работа проводится при красном освещении.

Однако это чисто качественный метод, позволяющий определять только число пор в диэлектрической плёнке, но не их

размеры. Поэтому используемое в этом методе устройство представляет ограниченный интерес.

Представляет интерес устройство, применяющееся в работе [4]. Способ и устройство основаны на размещении на поверхности диэлектрической плёнки капли электролита, опускании в каплю электролита платиновой проволоки и контроле протекания тока в системе «платиновая проволока – капля электролита – диэлектрическая плёнка – полупроводниковая или металлическая подложка». Подложка контактирует с металлическим основанием при подаче положительного напряжения между платиновой проволокой и металлическим основанием. По величине тока и напряжения вольт-амперной характеристики указанной системы судят о наличии и размерах поры в диэлектрической плёнке.

Недостатки указанного способа и устройства следующие:

- капля электролита может попасть на часть поверхности диэлектрической плёнки, где нет пор;
- в зависимости от состояния поверхности диэлектрической плёнки диаметр капли электролита может изменяться и контактировать с неопределённым количеством пор;
- для получения статистики нужно многократно удалять капли электролита и повторно наносить их на другие участки поверхности диэлектрической плёнки, что существенно увеличивает длительность контроля.

Методика экспериментов

Для исключения указанных ограничений была предложена конструкция, позволяющая осуществлять экспрессный контроль дефектов в диэлектрической плёнке на большой поверхности вплоть до всей поверхности плёнки.

Схема конструкции устройства для контроля дефектов в диэлектрических плёнках иллюстрируется на рис. 1.

Рис. 1

Схема устройства для контроля пор в диэлектрических плёнках: 1 – исследуемый образец с диэлектрической плёнкой; 2 – металлический цилиндр с резиновым кольцом; 3 – металлическое основание для помещения образца; 4 – штатив для камеры и освещения; 5 – видеокамера; 6 – раствор электролита в качестве которого может использоваться солёная вода; 7 – груз для прижима металлического цилиндра, предотвращающий его сдвиг; 8, 9 – источник питания и прибор для измерения тока

При пропускании тока пузырьки газа всплывают на поверхность электролита и могут наблюдаться при помощи устройства, изображенного на рис. 2.

Рис. 2

Зафиксированные пузырьки в электролите

При контроле пузырьков следует учитывать следующие обстоятельства.

Появление пузырьков происходило при напряжённости электрического поля $(1 - 5) \cdot 10^4$ В/мкм. При этом следует заметить, что на величину поля пробоя большое влияние оказывает степень подготовки поверхности пластины перед нанесением плёнки.

Использование настоящего устройства позволяет во всех случаях определять плотность тока, например, на квадратном сантиметре поверхности плёнки.

Вместо кольца из диэлектрика может использоваться кольцо из обычного металла типа латуни, алюминия, которое, однако, окисляется после проведения каждого опыта.

Вместо платинового электрода может быть использован электрод из металла

типа латуни или алюминия, который, однако, должен меняться из-за окисления после проведения каждого исследования.

Кроме того, в работе использовался метод отображения «сопротивления растекания электротока». В этом методе используется проводящий зонд, находящийся в контакте с поверхностью образца. К зонду прикладывается напряжение смещения и проводится измерение результирующего тока через образец в зависимости от положения зонда одновременно с получением данных о рельефе по методу «постоянной силы». Принципиальная схема практической реализации метода приведена на рис. 3.

Рис. 3

Принципиальная схема практической реализации метода «сопротивления растекания электротока»: 1 – гальванический контакт к поверхности образца; 2 – игла кантилевера (зонд); 3 – луч лазера для оптической регистрации изгиба балки кантилевера; 4 – отражающее покрытие балки; 5 – балка кантилевера; 6 – основание кантилевера; 7 – проводящее покрытие; 8 – измеритель тока с источником напряжения; 9 – изучаемая плёнка

Результаты экспериментов

На рис. 4 приведены ВАХ, снятые при контроле пористости в плёнках Si_3N_4 толщиной 10 и 60 нм соответственно, полученных методом атомно-слоевого осаждения.

Рис. 4

ВАХ, снятые при контроле пористости в плёнках Si_3N_4

По характеру измеренной вольт-амперной характеристики (по величине напряжения, при котором начинается протекание тока, и по величине самого тока при заданном напряжении) судят о пористости диэлектрической плёнки. Видно, что для тонкой плёнки ток резко возрастает при росте напряжения. Изменение тока на ВАХ происходит не только за счёт увеличений тока вследствие закона Ома, но и за счёт пробоя и возникновения дополнительных пор.

На рис. 5 показаны результаты контроля электропроводности плёнки TiO_2 на площади 1 мкм^2 . Плёнка получена методом атомно-слоевого осаждения (АСО).

Рис. 5

Результат исследования плёнки TiO_2 ($d = 12$ нм) на кремнии: слева – изображение топографии поверхности, справа на той же площади – картина распределения тока

На рис. 5 светлые области – высокая проводимость, тёмные – низкая проводимость. Напряжение смещения 7 В.

На рис. 7 показан образец плёнки SiO_2 на кремнии, выбранный для сравнения с предыдущей плёнкой.

Рис. 6

Сечение через область с высокой проводимостью на рис. 5 (справа); значение тока в максимуме – 16 000 пА

Рис. 7

Результат исследования плёнки SiO_2 на кремнии: слева – топография поверхности $1 \times 1 \text{ мкм}^2$, справа – распределение тока по поверхности

Напряжение смещения на зонде 7 В. В отличие от предыдущей плёнки здесь максимальное значение тока утечки не более 150 пА, что указывает на более высокие диэлектрические характеристики плёнки.

На рис. 9 представлены аналогичные исследования для образца плёнки Al_2O_3 (технология осаждения АСО, $d = 12 \text{ нм}$) на кремнии.

Рис. 8

Сечение через светлую область на токовом распределении плёнки SiO_2

Рис. 9

Результат исследования плёнки Al_2O_3 на кремнии: слева – топография поверхности 1×1 мкм², справа – распределение тока по поверхности

Напряжение смещения на зонде 9.5 В. Максимальное значение тока утечки не более 5 пА, что указывает на высокие диэлектрические характеристики плёнки.

Рис. 10

Сечение через светлую область на токовом распределении плёнки Al_2O_3 : максимальное значение тока примерно 4 пА – это указывает на высокие диэлектрические характеристики плёнки

Выводы

Разработанные конструкции устройств позволяют проводить экспрессный контроль пористости и проводимости диэлектрических плёнок на полупроводниковых пластинах.

Авторы статьи выражают благодарность за полезное обсуждение методик контроля сотруднику МИЭТ Боголепову Владимиру Владимировичу.

Литература

1. Концевой, Ю.А. Дефекты кремниевых структур и приборов. Часть 2. / Ю.А. Концевой, Д.К. Филатов – М.: ЦНИИ «Электроника», 1987. – 68 с.
2. Носиков, С.В. Электрографический метод исследования слоёв двуокиси кремния и нитрида кремния / С.В. Носиков, Ф.П. Пресс // Электронная промышленность. – 1971. – Вып. 1. – С. 69-73.
3. Вайнштейн, А.Б. Исследование сплошности тонких диэлектрических плёнок методом электрографии / А.Б. Вайнштейн, Г.В. Власова, Г.И. Королева и др. // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1974. – Вып. 2. – С. 57-61.

1. Kontsevoy Yu.A., Filatov D.K. Defekty kremniyevykh struktur i priborov [Defects in silicon structures and devices]. Moscow, TSNII «Elektronika», 1987, 68 p.
2. Nosikov S.V., Press F.P. Elektrograficheskiy metod issledovaniya sloyov dvoukisi kremniya i nitrida kremniya [Electrographic method for the study of

- Electronic engineering. Series 2. Semiconductor devices. Issue 4 (255) 2019