

На основании выражения (2) строится вольт-амперная характеристика структуры кремний-диэлектрик $J(U_{ox})$. Зная толщину диэлектрика T_{ox} , можно вычислить напряженность электрического поля в диэлектрике E_{ox} :

$$E_{ox} = \frac{U_{ox}}{T_{ox}} \quad (4)$$

Таким образом, реализуемая методика измерений позволяет одновременно определять три взаимосвязанных величины J , U_{ox} и E_{ox} , относящиеся к одному моменту времени t (моменту измерения контактной разности потенциалов после отключения коронного разряда).

Интенсивное освещение поверхности структуры светом с длиной волны из области собственного поглощения кремния приводит к спрямлению энергетических зон, сводя величину ΔU_{cb} к нулю. В этом случае, как следует из (1), соблюдается равенство $\Delta U_{CPD} = \Delta U_{ox}$, т.е. электрометрический зонд при интенсивном освещении структуры позволяет непосредственно измерять величину падения напряжения на диэлектрике. Получаемое при освещении значение контактной разности потенциалов обозначим как U_{CPD}^{III} .

Выполняя последовательные измерения в одной и той же точки с разной дозой воздействия коронным разрядом, можно получить характеристики зависимости тока утечки (туннелирования) от напряженности электрического поля. В последнем случае появляется возможность получения энергетического спектра тока утечки, что позволяет выявлять энергетический спектр дефектов, вызывающих повышенную утечку при достижении определенной напряженности электрического поля. Методика поз-

воляет также получать карты распределения параметра характеристики (в данном случае, плотности тока утечки) по поверхности исследуемого образца.

В случае, если толщина диэлектрика априори неизвестна, методика предусматривает предварительные измерения при малой плотности осажденного заряда (менее 2×10^{-6} Кл/см²). Такая плотность достаточна для возникновения туннельного эффекта, однако еще не приводит к ударной ионизации примеси в полупроводнике [1]. Результатом измерений являются отсчеты вольт-амперной характеристики структуры кремний-диэлектрик. Эти отсчеты передаются в персональный компьютер, где обрабатываются в программе *OriginPro* (или аналогичном по функциональности математическом пакете). Обработка заключается в приближении полученных точечных экспериментальных отсчетов известным уравнением туннельного эффекта (уравнением Фаулера-Нордхайма) по методу наименьших квадратов с использованием в качестве подгоночного параметра толщины оксида T_{ox} . Полученное при подгонке значение T_{ox} используется далее в качестве константы при вычислении плотности тока утечки при ударной ионизации и напряженности электрического поля в диэлектрике. Зная толщину диэлектрика, из уравнения (3) можно получить и значение его удельной емкости C_{ox} .

1. Wilson et al. Study of Stress-Induced Leakage Current in Thin Oxides Stressed by Corona Charging in Air: Relationship of GOI Defects // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. – 2000. – Vol. 592. – P. 345-350.

УДК 537.58:621.891

УСТАНОВКА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ БЕСКОНТАКТНОЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ПЛАСТИН СО СТРУКТУРОЙ КРЕМНИЙ-ДИЭЛЕКТРИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРОННОГО РАЗРЯДА

Воробей Р.И.¹, Жарин А.Л.¹, Петлицкий А.Н.², Пилипенко В.А.², Свистун А.И.¹, Тявловский А.К.¹, Тявловский К.Л.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

Характеризация пластин со структурой кремний-диэлектрик включает в себя выявление и локализацию дефектов, сосредоточенных, главным образом, на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Такая характеристика может обеспечиваться созданием на поверхности диэлектрика временного затвора, к которому прикладывается некоторый электрический потенциал, и дальнейшим экспериментальным определением зависимости плотности тока утечки структуры от величины приложенного потенциала. Для создания временного затвора в

разработанной конструкции используется воздействие на пластину коронным разрядом. В этом случае в роли затвора выступает осажденный на поверхность заряд, формируемый ионами воздуха. Поскольку ионы в коронном разряде имеют малую кинетическую энергию, такой заряд не является встроенным и легко может быть удален с поверхности, например, при ионизации окружающего воздуха ультрафиолетовым излучением. Таким образом, воздействие коронным разрядом является неразрушающим и не требует механического контакта

каких-либо частей измерительного преобразователя с поверхностью образца, что исключает ее случайное повреждение.

Осаждение на поверхность оксида заряда ΔQ_c , формируемого положительно заряженными ионами, приводит к изменению напряженности электрического поля в диэлектрике ΔE_{ox} в соответствии с законом Гаусса:

$$\Delta E_{ox} = \varepsilon_0 \varepsilon_{ox} \Delta Q_c. \quad (1)$$

При малых значениях ΔQ_c и, соответственно, низких напряженностях электрического поля утечки (диссипации) заряда в полупроводник и на землю практически не происходит. По мере увеличения дозы коронного разряда происходит нарастание напряженности электрического поля, пока граница зоны проводимости диэлектрика не совпадет с границей зоны проводимости кремния на достаточно малом расстоянии от границы раздела кремний-диэлектрик (порядка 50 Å). При этом условии будет наблюдаться доступный для регистрации туннельный ток сквозь диэлектрик. Для современных материалов типичная величина тока туннелирования составляет порядка 10^{-9} А/см² и более при напряженности электрического поля в диэлектрике порядка 6 МВ/см.

Увеличение концентрации положительно заряженных ионов и, соответственно, увеличение плотности осажденного заряда на поверхности структуры «кремний-диэлектрик» прекращается, когда величина тока утечки становится равной величине тока коронного разряда. Равновесное состояние может быть охарактеризовано любым из трех следующих взаимосвязанных параметров: плотностью заряда на диэлектрике ΔQ_c^{st} , напряженностью электрического поля в диэлектрике E_{ox}^{st} или потенциалом поверхности диэлектрика U_{ox}^{st} . После отключения источника коронного разряда плотность заряда на поверхности диэлектрика начинает уменьшаться. Это уменьшение и соответствующий ему ток утечки могут быть определены путем измерения динамики контактной разности потенциалов, для чего в конструкции измерительной установки предусмотрено использование бесконтактного вибрирующего зонда Кельвина-Зисмана [1].

Обобщенный алгоритм процедуры характеристики структуры кремний-диэлектрик с использованием коронного разряда приведен на рисунке 1. В соответствии с алгоритмом, после запуска процедуры измерения (блок 1) осуществляется автоматическая проверка наличия в памяти компьютера данных о толщине диэлектрика исследуемой структуры (блок 2). При отсутствии таких данных производится бесконтактное измерение толщины диэлектрика в структуре кремний-диэлектрик по отдельной методике, основанной на аппроксимации экспе-

риментальных данных о зависимости тока утечки от величины осажденного заряда уравнением Фаулера-Нордхайма [2].

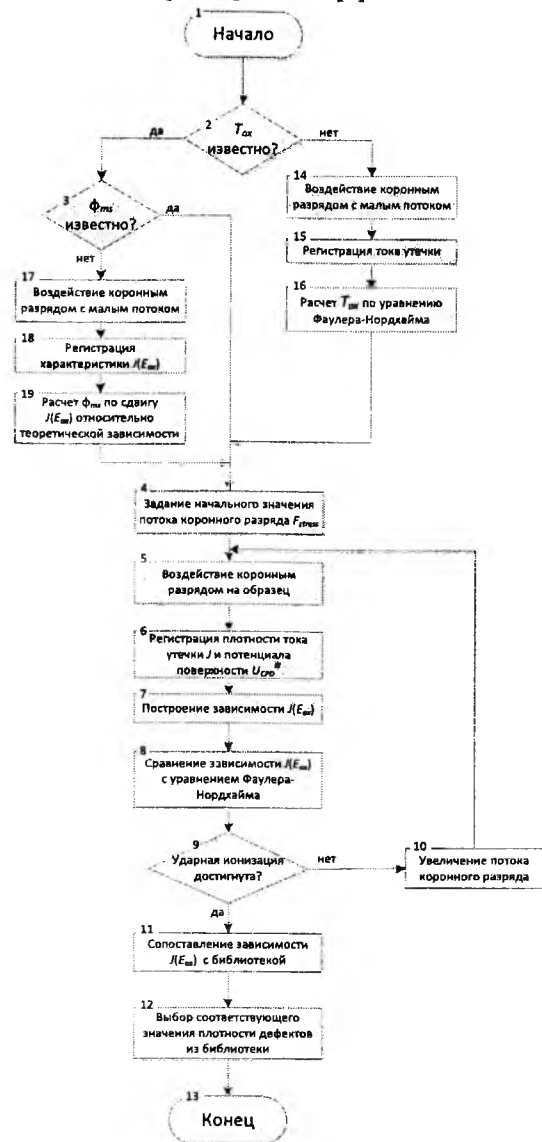


Рисунок 1 – Алгоритм неразрушающей бесконтактной характеристики пластин со структурой кремний-диэлектрик с использованием коронного разряда

Алгоритм определения толщины диэлектрика включает воздействие коронным разрядом (блок 14), регистрацию тока утечки диэлектрика после такого воздействия (блок 15) и расчет толщины диэлектрика по уравнению Фаулера-Нордхайма (блок 16). Если толщина диэлектрика T_{ox} известна, проверяется наличие в памяти компьютера данных о величине поправки на разность значений работы выхода электрона полупроводника и электрометрического зонда $\phi_{тс}$ (блок 3). При отсутствии таких данных величина поправки определяется экспериментально (блоки 17-19). Определение величин T_{ox} и $\phi_{тс}$ является взаимозависимым и по-

тому не может выполняться одновременно для одного и того же образца. При отсутствии информации об обеих величинах T_{ox} и φ_{ms} , приоритетным является экспериментальное определение толщины диэлектрика T_{ox} , поскольку связанная с ошибкой в определении этой величины погрешность значительно превышает погрешность из-за разности значений РВЭ φ_{ms} . После определения величин T_{ox} и φ_{ms} выполняется основной цикл измерения (блоки 4-10). В каждой итерации цикла осуществляется воздействие на образец коронным разрядом (блок 5) начиная с минимального значения потока коронного разряда (блок 4) и бесконтактная регистрация потенциала поверхности и его динамики, на основании чего рассчитываются величины J и E_{ox} (блок 6). Результаты расчета составляют экспериментальную зависимость $J(E_{ox})$ (блок 7). Доза воздействия коронным разрядом увеличивается в каждой последующей итерации цикла (блок 10) до тех, пор пока не будет достигнуто состояние ударной ионизации примеси в полупроводнике (блок 9). Достижение ударной ионизации оценивается по отклонению экспериментальной зависимости $J(E_{ox})$ от теоретической зависимости Фаулера-Нордхайма на величину больше заданной (блок 8). После этого производится сопоставление полученной зависимости $J(E_{ox})$ с библиотекой стандартных зависимостей (блок 11). По наиболее близкому

совпадению с одной из стандартных зависимостей оценивают плотность дефектов на границе раздела полупроводник-диэлектрик в исследуемом образце (блок 12).

При необходимости построения карты пространственного распределения дефектов по поверхности образца данный алгоритм повторяют для каждой из выбранных точек поверхности. Для этих целей в конструкции установки предусмотрена подсистема двухкоординатного сканирования, обеспечивающая прецизионное перемещение образца под электрометрическим зондом с погрешностью 15 мкм по координатам X и Y.

1. Воробей, Р.И. Применение метода Кельвина-Зисмана для контроля качества технологических процессов обработки полупроводниковых пластин / Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.Л. Жарин, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Н.И. Мухуров, В.А. Пилипенко, А.Н. Петлицкий // Приборостроение-2010: Материалы 3-й Международ. науч.-техн. конф. (10-12 ноября 2010 г.). – Минск: БНТУ, 2010. – С. 153-154.
2. Wilson et al. Study of Stress-Induced Leakage Current in Thin Oxides Stressed by Corona Charging in Air: Relationship of GOI Defects // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. – 2000. – vol. 592. – pp. 345-350.

УДК 681.772.7

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ПРЕСЕЧЕНИЯ ПРАВОНАРУШЕНИЙ

Воробьев С.Ю.¹, Хорольский Д.Б.¹, Мишнев Г.В.², Русак В.А.³

¹Республиканский центр управления и реагирования на чрезвычайные ситуации Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

²Прокуратура г. Минска, Минск, Республика Беларусь

³Академия Министерства внутренних дел Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

В настоящее время актуальной является проблема безопасности жителей городов. Противоправные действия, техногенные катастрофы, стихийные бедствия или неконтролируемое развитие ситуаций в местах массового пребывания людей в современном мегаполисе могут иметь самые тяжелые последствия [1].

Как для предотвращения правонарушений, преступлений, чрезвычайных ситуаций, так и в ходе ликвидации их последствий возрастает необходимость оперативного получения объективной информации с места происшествия (чрезвычайной ситуации), координации действий дежурно-диспетчерских служб, других сил и средств, участвующих в пресечении правонарушения или проведении аварийно-спасательных работ.

Системы видеонаблюдения как средство объективной фиксации различных процессов и явлений все шире используются в различных видах практической деятельности [2]. В том числе имеет место их использование в интересах органов правопорядка и чрезвычайных ситуаций.

Как пример, Лондон считается городом с самой основательной системой видеонаблюдения. Полмиллиона камер осуществляют видеонаблюдение в британской столице. Камеры наблюдения подвешены на каждом углу. На протяжении всего дня среднестатистического лондонца записывает свыше трехсот камер наблюдения. Их кольцо окружает центр города. За секунду каждый номер машины попадает в базу, в которой содержится информация о передвиже-