

Рисунок 3 – Интегрирующий трансимпедансный усилитель

Интегрирующему трансимпедансному усилителю для нормального функционирования требуется периодическая разрядка интегрирующего конденсатора, для чего используются прецизионные электронноуправляемые ключи.

С учетом высокого входного импеданса интегрирующего трансимпедансного усилителя, связь между электродами оказывается практически чисто емкостной. Ток в такой цепи может протекать только при условии изменения заряда неземленной обкладки Q_1 :

$$i = \frac{\partial Q_1}{\partial t}. \quad (3)$$

Источником изменения заряда является переменное электрическое поле, возникающее при воздействии на функциональный материал коротким импульсом оптического излучения. В случае, если длительность импульса много меньше постоянной времени измерительного преобразователя $C_0 R_0$, как это имеет место для настоящей конструкции, заряд на конденсаторе C_0 не успевает достичь насыщения за время импульса, и систему «образец – электроды измерительного преобразователя» можно рассматривать как емкостной делитель. В этом случае выходной сигнал U_{out} зарядочувствительного преобразователя связан с фотоЭДС U_{PV} поверхности исследуемого образца соотношением

$$U_{out} = U_{PV} \frac{C_1}{C_1 + C_0} \approx U_{PV} \frac{C_1}{C_0} \quad (4)$$

УДК 537.58:621.891

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР 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

6

Схема измерительного преобразователя для контроля параметров полупроводниковых структур с использованием коронного разряда и бесконтактной регистрации потенциала поверхности приведена на рисунке 1. Преобразователь включает в себя две основных части: узел воз-

с учетом малой относительной величины C_1 .

Таким образом, зная параметры конструкции зарядочувствительного преобразователя C_0 и C_1 , из (4) можно найти численное значение отклика исследуемого материала на оптическое излучение. При использовании калиброванного источника оптического излучения (например, полупроводникового лазера) с известной величиной потока оптического излучения Φ , можно определить такие параметры материала, как фототок короткого замыкания I_{SC} , емкость структуры C , фотоЭДС холостого хода U_{OC} , параллельное R_{sh} и последовательное R_s сопротивления фоточувствительной структуры.

Непосредственно после начала оптического импульса, когда напряжение U_{PV} еще не достигло насыщения, скорость его нарастания пропорциональна фототоку короткого замыкания и электрической емкости структуры:

$$\frac{\partial U_{PV}}{\partial t} = I_{SC} C. \quad (5)$$

При достижении насыщения фотоЭДС U_{PV} исследуемого материала принимает значение, равное фотоЭДС холостого хода U_{OC} . Наконец, после окончания импульса оптического излучения фотоЭДС U_{PV} начинает спадать за счет разрядки конденсатора C через последовательное сопротивление структуры R_s . Постоянная времени этого спада прямо пропорциональна произведению $R_s C$. Таким образом, анализ выходного сигнала предлагаемого зарядочувствительного измерительного преобразователя дает практически полную характеристику функционального материала с фотоэлектрическими свойствами.

1. Тявловский, А.К., Жарин, А.Л. Применение трансимпедансных предусилителей в измерителях контактной разности потенциалов // Электроника-инфо. – 2010. – № 6. – С. 60–63.

действия на образец коронным разрядом, обеспечивающий контролируемое заряджение поверхности структуры кремний-диэлектрик, и измерительный узел, обеспечивающий измерение потенциала поверхности с помощью бесконтактного зонда Кельвина. Оба узла смонти-

рованы на едином фиксированном основании. Каждый из узлов снабжен собственным экраном, кроме того, методика измерения не предполагает одновременной работы этих двух узлов, что полностью исключает возможность возникновения взаимных наводок. Исследуемый образец – пластина со структурой «кремний-диэлектрик» – размещается на заземленном подвижном держателе, обеспечивающем двухкоординатное перемещение. Пластина на держателе фиксируется вакуумным прижимом. В начале измерений пластина с помощью системы перемещения позиционируется таким образом, чтобы исследуемый участок оказался под источником коронного разряда. Воздействие коронным разрядом осуществляется дозировано, с регистрацией величины осажденного заряда на основании измерений тока разряда и времени воздействия. Площадь осаждения заряда определяется апертурой ограждающего электрода коронного разрядника, что позволяет рассчитать созданную на поверхности структуры плотность заряда. Для резкого отключения воздействия используются быстродействующие высоковольтные электромеханические реле, отключающие источник высокого напряжения и замыкающие разрядник на балластный резистор в заданный момент времени.

После достижения заданной плотности заряда на поверхности исследуемой структуры пластина подвижная система перемещает пластину заряженной области под средства измерения потенциала поверхности (зонд Кельвина). Зонд Кельвина регистрирует контактную разность потенциалов (КРП) между чувствительным элементом, имеющим нулевой потенциал, и заряженной поверхностью структуры «кремний-диэлектрик». Методика характеризации предусматривает воздействие на образец оптическим излучением с разными длинами волн (и, соответственно, разной глубиной проникновения в полупроводник) в процессе измерения потенциала поверхности, для чего в конструкции средств измерений потенциала предусмотрены световоды, передающие оптическое излучение от мощных светодиодов непосредственно к контролируемому участку полупроводниковой структуры. Управление измерительной системой, регистрация и обработка результатов измерений осуществляются с помощью персонального компьютера.

Исследуемый образец представляет собой кремниевую пластину, верхняя поверхность которой покрыта тонким слоем диэлектрика (SiO_2 , Ta_2O_5 , Al_2O_3 , Si_3N_4 или титанат бария-стронция BST). Между тыльной поверхностью пластины и заземленным основанием, на котором она закрепляется вакуумным прижимом,

существует омический контакт, благодаря чему пластина также оказывается заземлена.

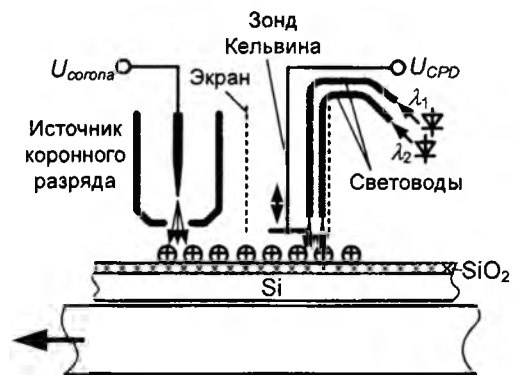


Рисунок 1 – Схема измерительного преобразователя для контроля параметров полупроводниковых структур с использованием коронного разряда и бесконтактной регистрации потенциала поверхности

Источник коронного разряда обеспечивает осаждение на пластину заряда как положительной, так и отрицательной полярности, в зависимости от знака приложенного к коронирующему электроду потенциала. Радиус пятна воздействия коронным разрядом составляет приблизительно 6 мм. Для создания необходимой плотности заряда на поверхности исследуемой структуры плотность тока коронного разряда регулируется в пределах от 10^{-7} до 10^{-4} А/см². Время воздействия не превышает 200 с, при этом обеспечиваются достаточные условия для возникновения значимого туннельного тока.

Осаждение заряда на поверхность структуры кремний-диэлектрик приводит к изменению контактной разности потенциалов на величину ΔU_{CPD} , которая включает в себя изменение падения напряжения на диэлектрическом слое ΔU_{ox} и изменение высоты поверхностного потенциального барьера ΔU_{sb} :

$$\Delta U_{CPD} = \Delta U_{ox} + \Delta U_{sb}. \quad (1)$$

Вследствие протекания через диэлектрик туннельного тока утечки $J(t)$ осажденный заряд постепенно нейтразуется, вследствие чего падение напряжения на диэлектрическом слое уменьшается как функция от времени. Соответственно, плотность тока утечки может быть вычислена на основании выражения

$$j = C_{ox} \frac{\partial U_{ox}}{\partial t}, \quad (2)$$

где C_{ox} – удельная электрическая емкость диэлектрика, вычисляемая из выражения

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{ox}}{T_{ox}}, \quad (3)$$

где ϵ_{ox} – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

T_{ox} – толщина диэлектрика.

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