

УДК620.179.119:537.523.3

КОНТРОЛЬ ТОКОВ УТЕЧКИ ДИЭЛЕКТРИКА НА ОСНОВЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ И БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА

А. Л. ЖАРИН, О. К. ГУСЕВ, Р. И. ВОРОБЕЙ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ,
К. Л. ТЯВЛОВСКИЙ, А. И. СВИСТУН
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Качество подзатворного диэлектрика является одним из определяющих параметров при производстве полевых транзисторов с МОП-структурой и интегральных микросхем на их базе. Для его оценки может использоваться такой параметр, как ток утечки диэлектрика, в наиболее полной мере характеризующий его способность выполнять целевую функцию. В то же время, существующие методы контроля тока утечки диэлектрика связаны с созданием на поверхности контролируемого образца постоянных или временных металлических контактов и, таким образом, не обеспечивают требуемой оперативности контроля и не являются неразрушающими по отношению к чистым поверхностям.

Предлагаемый метод контроля не требует нанесения металлических контактов, а необходимая разность потенциалов между поверхностью диэлектрика и полупроводниковой подложкой создается путем воздействия на образец коронным разрядом. В результате такого воздействия на поверхность образца временно осаждаются (в зависимости от полярности разряда) ионизированные молекулы углекислого газа или паров воды, присутствующих в атмосфере. После проведения измерений осажденный заряд может быть легко удален, например, путем ионизации воздуха над образцом ультрафиолетовым излучением, или же промывкой образца в деионизованной воде. Важными достоинствами коронного разряда как источника заряжения поверхности диэлектрика являются:

- отсутствие необходимости в использовании вакуумной камеры (разряд происходит в воздухе при нормальном давлении);
- близкая к нулю кинетическая энергия ионов, достигающих поверхности образца, что исключает ее повреждение ионной бомбардировкой;
- возможность точного контроля количества осажденного заряда и его поверхностной плотности.

Схема реализации метода показана на рис. 1. Алгоритм контроля включает 3 основных этапа.

1. Исследуемый образец со структурой "кремний-диэлектрик" помещается под источник коронного разряда. На поверхность образца осуществляется осаждение заряда, величина которого контролируется путем интегрирования тока коронного разряда по времени:

$$Q = \int_0^t i_{corona}(t) dt. \quad (1)$$

Площадь осаждения заряда определяется апертурой экранирующего электрода разрядника, зная которую, несложно определить поверхностную плотность осажденного заряда σ . Во избежание электрического пробоя диэлектрика величина σ не должна превышать 10^{-7} Кл/см² [1].

2. Отключив коронный разряд, немедленно перемещают заряженный образец под электрометрический зонд Кельвина. Реализуемый с использованием данного зонда метод Кельвина-Зисмана обеспечивает бесконтактные измерения поверхностного потенциала V_S в реальном масштабе времени. При этом необходимо отметить, что измерительный сигнал зонда Кельвина V_K помимо составляющей, связанной с потенциалом V_S , содержит также составляющую, определяемую, так называемой контактной разностью потенциалов (КРП) V_{CPD} между материалами зонда Кельвина и образца [2], т.е.

$$V_K = V_S + V_{CPD}. \quad (2)$$

В связи с этим, измерения поверхностного потенциала с помощью зонда Кельвина должны предваряться определением величины V_{CPD} , что можно осуществить путем измерения V_K перед осаждением заряда, т.е. при $V_S = 0$. Измерив значение V_S после осаждения заряда, можно найти электрическую емкость диэлектрика C или его удельную емкость C_r :

$$C = \frac{Q}{V_S}; \quad C_r = \frac{\sigma}{V_S}. \quad (3)$$

За счет утечки через диэлектрик, заряд на поверхности образца будет уменьшаться. Ток утечки i_{leak} при этом определяется как первая производная от заряда по времени. В соответствии с (3), поверхностный потенциал при этом также будет уменьшаться по закону

$$\frac{\partial V_S}{\partial t} = C \frac{\partial Q}{\partial t} = C \cdot i_{leak} = C_r \cdot j_{leak}, \quad (4)$$

где j_{leak} – плотность тока утечки.

Отсюда, измерив указанным способом удельную емкость диэлектрика и скорость спада поверхностного потенциала, можно определить искомую плотность тока утечки

$$j_{leak} = \frac{V_S}{\sigma} \frac{\partial V_S}{\partial t}. \quad (5)$$

3. После выполнения измерений разряжают поверхность образца, например, с помощью ультрафиолетового излучения.

Для используемых в настоящее время структур "кремний-диэлектрик" плотность тока утечки находится в пределах $10^{-12} \dots 10^{-9}$ А/см² [3]. При исходной поверхностной плотности осажденного заряда не более 10^{-7} Кл/см².

Это означает уменьшение исходного заряда (и, соответственно, поверхностного потенциала) на 0,001...1 % за 1 с. Последняя величина является достаточно значительной, что может привести к погрешности при определении V_S в случае, если перенос образца из-под источника коронного разряда под зонд Кельвина занимает сопоставимое или большее время. Для устранения этой погрешности можно воспользоваться определением исходной величины V_S по методу экстраполяции, а именно, определив скорость спада поверхностного потенциала $\partial V_S/\partial t$, продлить график спада потенциала до момента отключения источника коронного разряда.

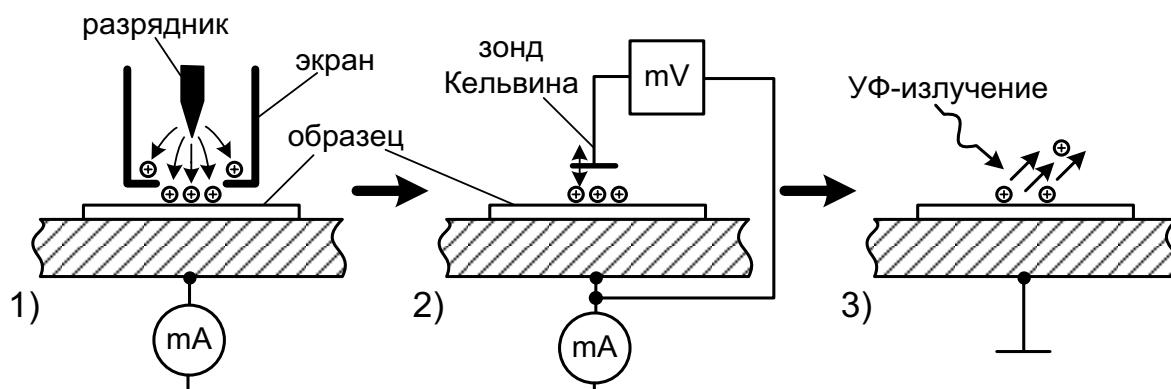


Рис. 1. Последовательность операций при проведении контроля: 1 – осаждение заряда; 2 – регистрация спада поверхностного потенциала после отключения источника коронного разряда; 3 – разряжение поверхности образца

Следует отметить, что изменение состояния полупроводника под диэлектриком под действием сильных электрических полей (например, его глубокое обеднение или инверсия) также может повлиять на величину V_S . Это накладывает дополнительные ограничения на величину осаждаемого заряда, либо же требует модификации математического аппарата для метода контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Shroder, D.** Surface voltage and surface photovoltage: history, theory and applications / D. Shroder. – Meas. Sci. Tech. – 2001. – No.12. – P. R16–R21.
2. **Zharin, A. L.** Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping / A. L. Zharin // Applied Scanning Probe Methods. – 2010. – V. 14. – P. 687–720.
3. **Зи, С. М.** Физика полупроводниковых приборов / С. М. Зи. – М. : Мир, 1984. – кн. 2. – 456 с.