

**ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
ТОКОПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ РЕЗИСТОРОВ**

В. И. ГОРБУНОВ, Д. И. СВИРЯКИН, Н. Я. ФИЛИШОВ, А. Н. КОЛУПАЕВ

Сканирующий электронный луч и, в частности, электронно-лучевая микроскопия находят в электронной промышленности все более широкое применение при проверке различных радиокомпонентов. Сканирующая электронная микроскопия применяется при разработке и изготовлении полупроводниковых приборов, исследовании материалов, определении кристаллографической ориентации, измерении концентрации легирующей примеси, структурном анализе, контроле электрических характеристик и т. д. Вследствие многообразия областей применения сканирующего электронного луча вновь разрабатываемые методики исследований должны отвечать специфическим требованиям каждой отдельной задачи.

Так, например, описанный в работе [1] метод проверки процессов диффузии в транзисторных многокомпонентных интегральных схемах (ИС) с помощью сканирующего электронного луча служит для выявления электронных переходов. Метод основан на принципе разделения зарядов носителей тока, индуцированных падающим электронным лучом, внутренним полем диффузионных переходов многопереходных приборов. Но для выявления границ переходов необходимо сделать на образцах шлиф, чтобы диффузионные области стали доступными для высокоэнергетичного сканирующего луча, генерирующего в местах своего падения на полупроводник электронно-дырочные пары вследствие перехода электронов из валентной зоны в зону проводимости. Причем, число генерируемых носителей пропорционально энергии первичного пучка. Носители тока, созданные в пределах диффузионной длины перехода, подвергаются влиянию внутреннего поля перехода. Непосредственно на переходе все индуцированные носители разделяются и, таким образом, во внешней цепи (цепи нагрузки) протекает максимальный ток. После того, как луч минует переход, количество разделенных носителей уменьшается и амплитуда тока также снижается. В областях, находящихся вне влияния поля перехода, носители рекомбинируют и не влияют на суммарный ток, протекающий во внешней цепи. Эти изменения тока и являются полезным сигналом, который после усиления воспроизводится на экране электронно-лучевой трубки посредством амплитудной или яркостной модуляции.

Этот метод требует для своей практической реализации высокопроизводительный вакуумный агрегат, мощную электронную пушку с совершенной электронно-оптической системой фокусировки и отклонения луча, позволяющей довести апертуру луча до долей микрона. Процедуру проверки транзисторных структур нельзя отнести к разряду разрушающих методов контроля, так как приготовление шлифа ведет

к разрушению проверяемого изделия и утрате им работоспособности. Поэтому метод электронного сканирования может применяться только при отработке технологии изготовления многокомпонентных ИС и непригоден для массового производства.

Для осуществления массового контроля качества токопроводящего покрытия резисторов необходимо иметь электронный пучок со сравнительно низкой проникающей способностью, апертурой, измеряемой единицами и десятками микрон и невысокой степенью разряжения вакуумной системы ($10^{-5} \div 10^{-6}$ мм рт. ст.). Исходя из этих требований была разработана установка электронно-лучевой проверки качества токопроводящих покрытий резисторов, состоящая из электронно-лучевой вакуумной камеры, фокусирующе-отклоняющей системы, видеоусилителя и видеоконтрольного устройства.

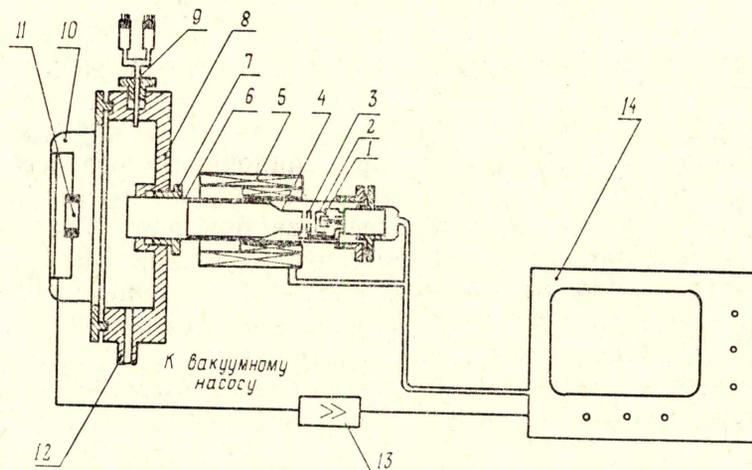


Рис. 1. Блок-схема установки.

Блок-схема установки показана на рис. 1. Для быстрой смены контролируемых изделий вакуумная камера сделана разборной.

Она состоит из четырехэлектродного электронного прожектора, переходной части (8), в которой находятся патрубок (12) для откачки воздуха из прибора и манометрические датчики давления (9) в вакуумной системе, и узла крепления изделия (10). Электронный прожектор, состоящий из модулятора (2), первого (3) и второго (4) анодов, взят из стандартного видикона ЛИ=421 и позволяет получать в плоскости контролируемого изделия (11) сфокусированный электронный луч порядка 20 мкм. В качестве источника электронов использован катодный узел (1) от разборной электронно-оптической системы конструкции ВНИИЭЛП, выдерживающий многократный напуск воздуха в систему. Электронная пушка сборки вставляется в стеклянную трубку (6) с внутренним проводящим покрытием, которая, в свою очередь, с помощью накидной гайки (7) крепится к переходной части (8) прибора. С другой стороны переходной части устанавливается колба (10) с вакуумплотным электрическим выводом для размещения контролируемых изделий и подключения сопротивления нагрузки, с которого снимается напряжение видеосигнала. Видеосигнал усиливается с помощью предварительного видеоусилителя УВ=49 (13) и подается на видеоконтрольное устройство (14) промышленной телевизионной установки ПТУ=26М. Фокусировка и управление электронным лучом осуществляется стандартной фокусирующе-отклоняющей системой ФОС=34 (5), размещаемой на горловине электронно-лучевой вакуумной камеры. На экране видеоконтрольного устройства оператор наблюдает изображение поверхностного слоя контролируемого изделия.

При работе электронного прожектора сфокусированный пучок

электронов сканирует по поверхности контролируемого изделия и заряжает ее до потенциала катода. Затем в течение времени между коммутациями, равном времени кадра телевизионного изображения, потенциал участков поверхности изделия повышается до значений, пропорциональных их вторично-эмиссионным свойствам. В результате этого на поверхности образуется потенциальный рельеф, которым модулируется ток падающего луча в последующие периоды коммутации. Вторично-электронная эмиссия с поверхности создает ток противоположного направления по отношению к току первичного луча. Результирующая величина тока сигнала примерно равна разности между числом первичных электронов, попадающих на поверхность изделия, и числом вторичных электронов, уходящих с нее.

Первичный ток равен току луча, если потенциал поверхности изделия не очень близок к катодному, а величина вторичного тока определяется коэффициентом вторичной эмиссии σ и первичным током луча I_n . Следовательно, ток сигнала в режиме медленных электронов будет равен [2]

$$I_c = I_n - \sigma I_n = I_n(1 - \sigma).$$

Ток первичного пучка, достигающего поверхности изделия, зависит прежде всего от распределения потенциала на его поверхности, т. е. от проводимости элементарных ее участков и приложенного внешнего напряжения. Если потенциал участков поверхности с малой проводимостью близок к катодному, то не все электроны могут попасть на нее. Часть электронов, имеющая недостаточную для достижения поверхности нормальную составляющую скорости, не доходя до изделия, отражается обратно к аноду. Еще более сложный характер имеет зависимость коэффициента вторичной эмиссии σ от свойств сканируемой поверхности. Величина коэффициента σ определяется как отношение числа N_2 всех электронов, испускаемых поверхностью за время t , к числу N_1 первичных электронов, попадающих за это время на мишень [2].

$$\sigma = \frac{N_2}{N_1}.$$

Величина σ зависит от многих факторов материала облучаемого изделия, характера его обработки, в особенности от состояния поверхности, температуры и т. д. Изучив зависимость σ от этих факторов, можно довольно точно осуществлять контроль поверхностных слоев различных изделий.

В качестве примера на фотографиях, представленных на рис. 2 и рис. 3 показаны изображения резисторов без защитного лакового покрытия типа МУН=1 и резисторов со снятым лаковым покрытием типа МЛТ=2, сфотографированных с экрана ВКУ промышленной телевизионной установки. На фотографиях четко видны отдельные точки и полосы, являющиеся дефектами резистивного покрытия. Кроме то-

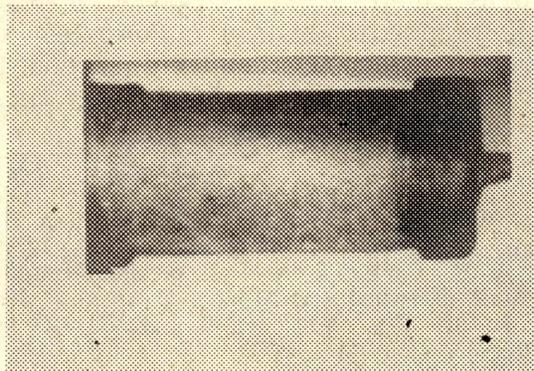


Рис. 2. Фотография изображения резистора типа МУН-1 без защитного лакового покрытия.

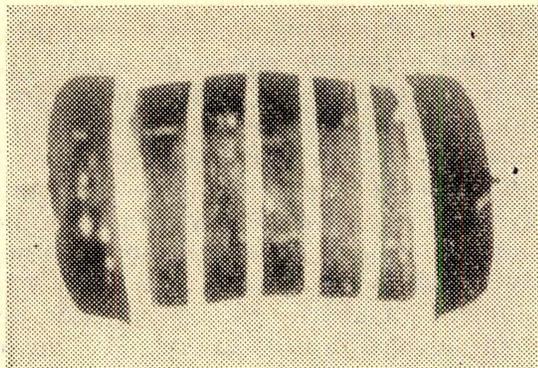


Рис. 3. Фотография изображения резистора типа МЛТ-2 со снятым лаковым покрытием.

го, на экране ВКУ получается увеличенное в десятки раз изображение контролируемого изделия, что способствует повышению выявляемости дефектов проводящих и диэлектрических покрытий.

Приведенные изображения получены при энергии пучка порядка 600 эв и напряжении на поверхности резистора около 70 в. При увеличении ускоряющего напряжения на анодах электронного прожектора возрастает глубина проникновения электронов в вещество, что позволяет проводить контроль на большую глубину (порядка 10 мкм), кроме этого, увеличивается контраст и четкость изображения, а за счет уменьшения апертуры луча можно повысить коэффициент масштабного увеличения изображения на экране ВКУ. На рис. 4 приведена фотография изображения резистора типа МЛТ-2 при напряжении на втором аноде электронного прожектора порядка 2 кв и потенциале на поверхности резистора равном 150 в.

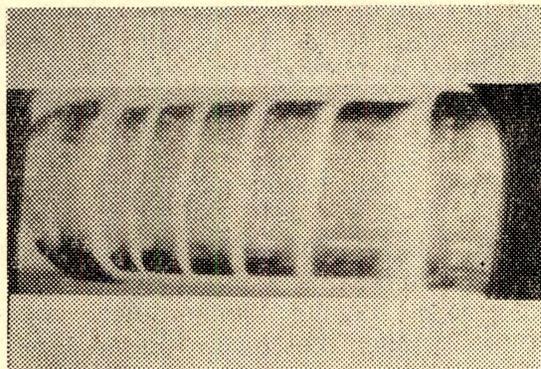


Рис. 4. Фотография изображения резистора типа МЛТ-2, полученная при повышенном напряжении на электронном прожекторе.

Работа на разборной вакуумной электронно-лучевой телевизионной установке показала принципиальную возможность эффективного неразрушающего контроля качества токопроводящих и лаковых покрытий радиокомпонентов с помощью хорошо сфокусированного сканирующего пучка медленных электронов. Описанный способ контроля может обеспечить как выборочный, так и 100%-й контроль изделий в процессе их производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. V. Lukianoff. Electrical Junction Delineation by scanning Electron Beam Technigne „Solid State Technol“. v 14, N 13, 1971, pp. 39—43.
2. А. Е. Гершберг. Передающие телевизионные трубки, использующие внутренний фотоэффект. М.-Л., «Энергия», 1964.
3. И. М. Бронштейн, Б. С. Фрайман. Вторичная электронная эмиссия. М., «Наука», 1969