

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ ПРИБОРОВ И СТРУКТУР СИЛОВОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Сопряков В.И., Петриченко В.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Известно, что качество кремния для силовых приборов имеет определяющее значение для получения надежных изделий. Одна из основных причин отказов силовых диодов связана с неоднородными распределениями тока и электрического поля по площади прибора, приводящими к уменьшению эффективной рабочей площади, локальным разогревам, раннему пробое. Неоднородное распределение тока по площади диода может являться следствием как неоднородности материала, так и неустойчивости однородного токопрохождения. Последнее связывается с наличием микроплазм – областей с высокой локальной плотностью тока. Такой характер тока обычно связан с локальным пробоем в местах расположения структурных неоднородностей – дислокаций, трещин, кластеров, неоднородностей легирования. Наличие областей с высокой локальной плотностью тока существенно снижает надежность приборов.

Электропараметрический контроль силовых приборов и структур на соответствие техническим условиям в большинстве случаев не выявляет признаков неустойчивого протекания тока, связанного с неоднородностью распределения удельного сопротивления и структурных дефектов. Оптимальным с целью контроля качества является выбор такого информативного параметра, который бы контролировался в области высоких обратных напряжений диода и был бы связан с неоднородностями и дефектами структуры, а также был чувствителен к деградационным процессам, протекающим при испытании приборов.

Структура вольт-амперной характеристики (ВАХ) перед участком лавинного электрического пробоя диода несет информацию о неоднородности распределения тока по площади. При изучении структуры ВАХ полупроводниковых нелинейных элементов необходимо знать ширину и начальное напряжение линейных участков или более сложных особенностей ВАХ. Определение этих величин из ВАХ в большинстве случаев невозможно. Применение техники двойного дифференцирования дает существенный выигрыш в разрешении начальных напряжений линейных участков ВАХ, связанных с отдельными микроплазмами, так как ее первая производная представляет кривую, подобную ступенчатой, а вторая – совокупность узких максимумов и минимумов.

Известно, что амплитуда второй гармоники переменного тока нелинейного элемента в режиме малого сигнала пропорциональна второй производной ВАХ (d^2I/dU^2). Для ее измерения разработана измерительная установка модуляционного дифференцирования ВАХ, в которой реализован метод детектирования гармоник. Особенностью установки является широкий диапазон обратных напряжений 0...1000 В. Амплитуда переменного напряжения частотой 300 Гц регулировалась в диапазоне 1...10 В с целью достижения оптимального разрешения и помехоустойчивости.

В работе исследовались р-п-структуры, полученные диффузией бора в кремний n-типа с примесью фосфора с удельным сопротивлением 12 Ом·см.

Для выявления потенциально ненадежных элементов среди годных по значению обратного тока при напряжении 800 В исследовалась структура ВАХ в предпробойной области (рис. 1). Значения напряжений возрастания d^2I/dU^2 соответствуют включениям отдельных микроплазм. Как видно из рис. 1а микроплазмы для однородных образцов распределяются в сравнительно узком интервале напряжений. При этом значение перенапряжения на первой микроплазме $\Delta U \leq 30$ В.

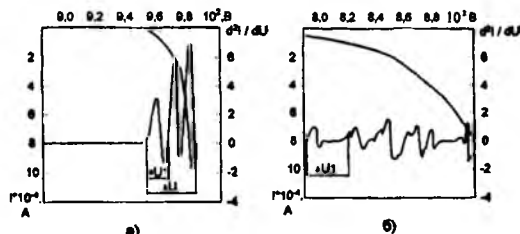


Рисунок 1 – ВАХ и ее вторая производная для контрольного (а) и потенциально ненадежного элемента (б)

В потенциально ненадежных элементах количество микроплазм возросло с двух-трех до пяти-шести, и располагались они в более широкой области напряжений $\Delta U \geq 100$ В (рис. 1б), поэтому в качестве контрольного параметра было выбрано значение перенапряжения на первой микроплазме ΔU_1 , либо разность между напряжениями включения первой и второй микроплазмы ΔU_1 (рис. 1а,б). Исследованные элементы подвергались наработке электрическим током, что

позволило выявить высокую вероятность отказа ($P > 0,5$) в группе образцов с высокими значениями ΔU и ΔU_j .

Другим эффективным методом прогнозирования надежности является измерение низкочастотного шума, который обычно связывается с дефектами структуры, состоянием поверхности и контактов. Измерялось среднеквадратическое значение флуктуаций обратного тока в диапазоне напряжений 200...900 В. Коэффициент корреляции флуктуаций и ΔU оказался равным 0,85.

Причины понижения напряжения пробоя до значения 300...400 В, а также возникновения "мягкой" обратной ВАХ изучались с целью диагностики брака. Для диагностики использовались четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления, измерения вольт-фарадных характеристик, послойное и селективное травление, измерение тока, индуцированного световым зондом.

С помощью четырехзондового метода при послойном травлении установлено, что причиной понижения напряжения пробоя является аномальная диффузия бора по дислокациям (рис. 2). Установлено прямыми наблюдениями, что причиной "мягкой" ВАХ являются локальные дефекты механической обработки.

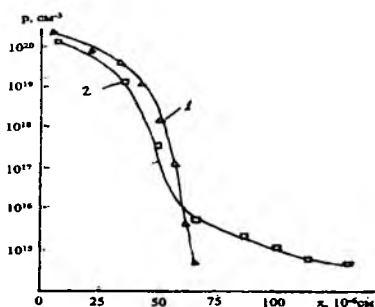


Рисунок 2 – Распределение концентрации дырок в р-области для контрольного (1) и бракованного (2) выпрямительных элементов

УДК 681

НАДЕЖНОСТЬ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В ПЛАСТМАССОВОМ КОРПУСЕ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

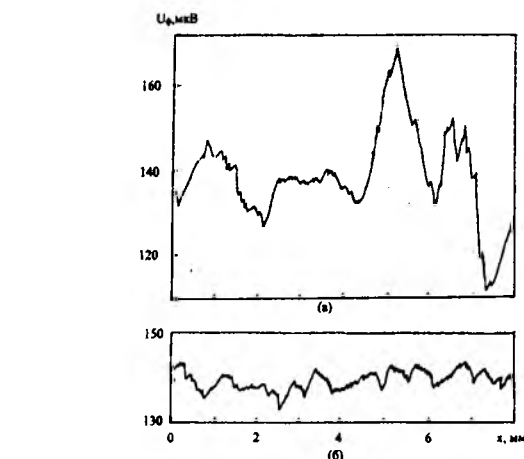
Турцевич А.С.¹, Волкенштейн С.С.², Керенцев А.Ф.¹, Хмыль А.А.³

¹ ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

² УП «КБТЭМ-СО», Минск, Республика Беларусь

³ УО «БГУИР», Минск, Республика Беларусь

В современной автомобильной электронике широко применяются мощные транзисторы в пластмассовых корпусах для поверхностного



а - кремниевая пластина с неоднородным распределением электрофизических параметров; б - контрольная пластина/

Рисунок 3 – Распределение фото-ЭДС на межфазовой границе полупроводник-электролит

В работе показана возможность применения метода измерения фото-ЭДС на межфазовой границе полупроводник-электролит для неразрушающего входного и операционного контроля полупроводниковых пластин и структур, используемых в производстве силовых диодов. Их особенностью является наличие поверхностного нарушенного слоя. Метод измерения фото-ЭДС, однако, дает хорошие результаты на пластинах с удаленным нарушенным слоем. Применение аммиачно-перекисной отмычки кремниевых пластин, поступающих в производство, а также выпрямительных элементов позволило выявить на излучении *He-Ne* лазера с длиной волны $\lambda = 0,63$ мкм образцы с макрофлуктуациями сигнала до $\pm 30\%$ на длине 1 мм (рис. 3). Исследование влияния длины волны излучения показали, что при $\lambda = 0,8$ мкм, что соответствует ширине запрещенной зоны кремния, величина фото-ЭДС возрастает в 7...8 раз. Такие измерения с высоким соотношением сигнал-шум можно также проводить с использованием интерференционного фильтра или источника "белого" света.

монтажа, которые обеспечивают более высокую плотность монтажа не только за счет уменьшения площади, занимаемой компонентами, но и