

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАТОРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМА

Буслюк В.В.¹, Просолович В.С.², Янковский Ю.Н.², Черный В.В.³

¹Частное научно-исследовательское унитарное предприятие «СКБ Запад», Брест, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Воздействие источников шума на линейные диагностические системы может генерировать принципиально новые эффекты, которые не могут быть реализованы в отсутствие шума. Применение физических источников шума является перспективным для создания случайных числовых последовательностей с целью защиты информации, а также диагностики оборудования и конструкции методами модального анализа. Для практического применения обязательным условием является получение качественного, с точки зрения случайности, и оптимального по амплитудным и частотным характеристикам для конкретного применения шума, генерируемого конкретным источником. Однако, получение широкополосного шума со спектром, наиболее близким к однородному, определяется, прежде всего, режимом работы диодов-генераторов.

Основной работы современных полупроводниковых стабилитронов и генераторных диодов являются ударная ионизация и лавинный пробой р-п-перехода. Лавинный пробой реальных р-п-переходов сильно локализован и носит микроплазменный характер. Микроплазмы (МП), как правило, располагаются в местах скопления различного рода структурных дефектов и несовершенств. Надежность лавинных диодов, их способность выдерживать кратковременные перегрузки в обратном направлении целиком определяются совокупностью МП прибора. Поэтому примесная атмосфера и структурные дефекты микроплазменных каналов являются определяющими факторами при разработке генераторных диодов. Если в микроплазменном канале имеются глубокие центры (ГЦ), то эмиссия с них носителей заряда существенно влияет на параметры пробоя даже в тех случаях, когда концентрация ГЦ на много порядков величины меньше концентрации легирующих примесей. В связи с этим актуальным является исследование электрофизических параметров генераторных диодов.

В работе исследованы электрофизические параметры кремниевых диодов-генераторов шума ND103, изготовленных по диффузионной технологии на основе подложек монокристаллического кремния марки 3А2яКДБ0.03(111)4⁰-460. Глубина р-п-перехода, сформированного диффузией, фосфора составляла ~ 6 мкм. Амплитуда шумов в области лавинного пробоя составляла ~ 100 мВ при токе 50 мкА, верхняя граница одно-

родных шумов ≤ 3 МГц. Измерения вольт-амперных (ВАХ) и вольт-фарядных (ВФХ) характеристик диодов с целью определения влияния глубоких центров на электрофизические параметры приборов производились при температурах +125 °С, +20 °С и -60 °С. Структурные дефекты подложки выявлялись путем травления в селективном травителе.

На рис.1 представлены прямые ветви ВАХ исследуемых диодов. Видно, что характеристика

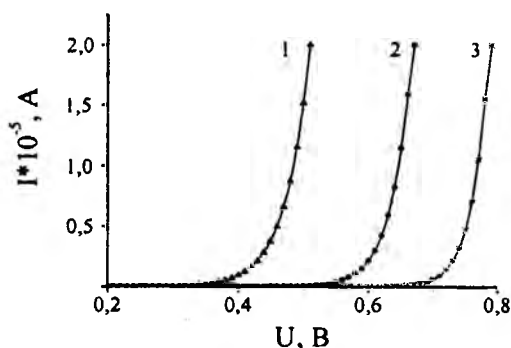


Рисунок 1 – Прямые вольт-амперные характеристики

р-п-переходов. Температура измерений: 1- +125°С, 2- +20°С, 3- -60°С.

имеет экспоненциальную зависимость, а напряжение открывания диода увеличивается с уменьшением температуры. Это обусловлено тем, что ток в прямом направлении определяется его диффузионной составляющей, зависящей как от величины концентрации неосновных носителей заряда, так и от температурного изменения ширины запрещенной зоны.

На рис.2 представлены ВФХ диодов. Видно, что данная зависимость очень слабо зависит от температуры, что свидетельствует о том, что концентрация глубоких центров, определяющихся структурными дефектами и технологическими (фоновыми) примесями в области объемного заряда р-п-перехода, невелика по сравнению с уровнем легирования.

Из представленных на рис.3 ВАХ при обратном включении диодов видно, что с увеличением температуры напряжение пробоя увеличивается, что обусловлено увеличением размеров области пространственного заряда вследствие изменения концентрации свободных носителей заряда. Вольт-амперные характеристики имеют активаци-

ционный характер. Из измерения температурных зависимостей обратного тока установлено, энергия активации в зависимости от величины приложенного к р-п-переходу обратного напряжения имеет значения в диапазоне 0.25-0.45 эВ. Полученные экспериментальные значения ВАХ и ВФХ свидетельствуют о том, что лавинный пробой р-п-перехода не может быть обусловлен его «проколом» вследствие шнурования тока по пронизывающим его дислокациям. Действительно, как показали структурные исследования, плотность дислокаций в подложке невелика и не превышает значения 100 см^{-2} (рис.4). После селективного травления поверхность подложки имеет «развитый» характер, обусловленный локальными микроскопическими неоднородностями концентрации основной легирующей примеси бора, что характерно для сильнолегированных полупроводников.

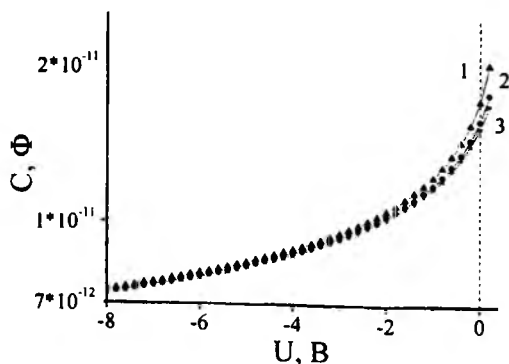


Рисунок 2 – Вольт-фарадные характеристики р-п-переходов. Температура измерений: 1- $+125^{\circ}\text{C}$, 2- $+20^{\circ}\text{C}$, 3- -60°C .

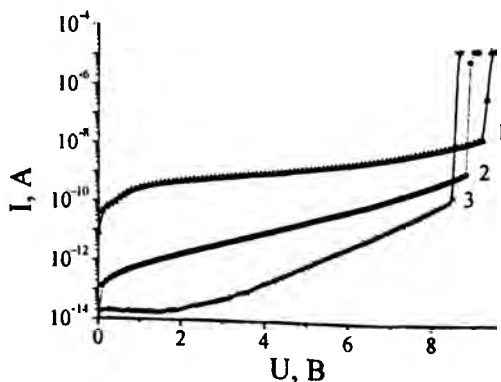


Рисунок 3 – Обратные вольт-амперные характеристики р-п-переходов. Температура измерений: 1- $+125^{\circ}\text{C}$, 2- $+20^{\circ}\text{C}$, 3- -60°C .

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что лавинный пробой р-п-перехода обусловлен включением микроплазм.

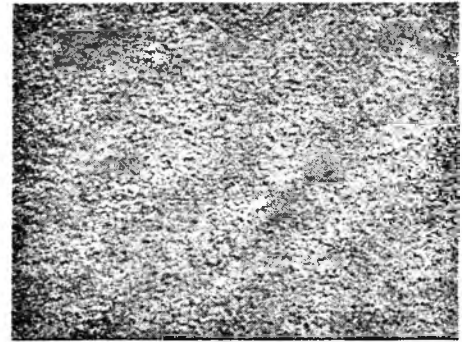


Рисунок 4 – Структура поверхности кремниевой подложки марки 3А2ЯКДБ0.03(111)4⁰-460 после обработки в селективном хромовом травителе.

Это происходит в результате локального увеличения напряженности электрического поля на неоднородностях легирования кристалла и ионизацией глубоких примесных центров в области пространственного заряда. Как показали исследования температурных зависимостей обратного тока р-п-перехода, такими примесями могут быть технологические фоновые примеси железа и меди. Как основные легирующие, так и технологические примеси могут осажаться на структурных несовершенствах кристаллической решетки в виде примесных атмосфер либо включений второй фазы. Наличие примесных атмосфер легирующих примесей может приводить к локальному сужению области пространственного заряда и увеличению в этих местах напряженности электрического поля. Наличие глубоких уровней, которые остаются заполненными в пределах области пространственного заряда, может также обуславливать пробой р-п-перехода при их ионизации вследствие локального увеличения напряженности электрического поля.

Таким образом, экспериментально установлено, что лавинный пробой р-п-перехода генераторных диодов ND103 обусловлен, вероятно, включением микроплазм, связанных с локальными неоднородностями легирования материала подложки, а также электрической ионизацией глубоких примесных центров технологических (фоновых) примесей, таких, как например, медь и железо, попадающих в монокристалл, как при выращивании слитков по методу Чохральского, так и при технологическом процессе формирования диодной структуры.