

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМА

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

¹Научно-исследовательское унитарное предприятие «СКБ Запад»

Брест, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Применение физических источников шума является перспективным для создания случайных числовых последовательностей с целью защиты информации, а также диагностики оборудования и конструкции методами модального анализа. Воздействие источников шума на линейные диагностические системы может генерировать принципиально новые эффекты, которые не могут быть реализованы в отсутствие шума. 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.

Основой работы современных полупроводниковых стабилизаторов и генераторных диодов являются ударная ионизация и лавинных пробой *p-n*-перехода. Лавинный пробой реальных *p-n*-переходов сильно локализован и носит микроплазменный характер. Для существования микроплазм (МП) необходимо либо наличие структурных несовершенств, вызывающих локальные искажения электрического поля в области, падение напряжения на которой составляет около 1 В, либо структурные несовершенства могут содержать ловушки, имеющие высокую плотность заряда, создающего внутреннее электрическое поле [1]. Надежность лавинных диодов, их способность выдерживать кратковременные перегрузки в обратном направлении целиком определяются совокупностью МП прибора. Ранее было показано, что лавинный пробой *p-n*-перехода генераторных диодов ND103 обусловлен 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 [2].

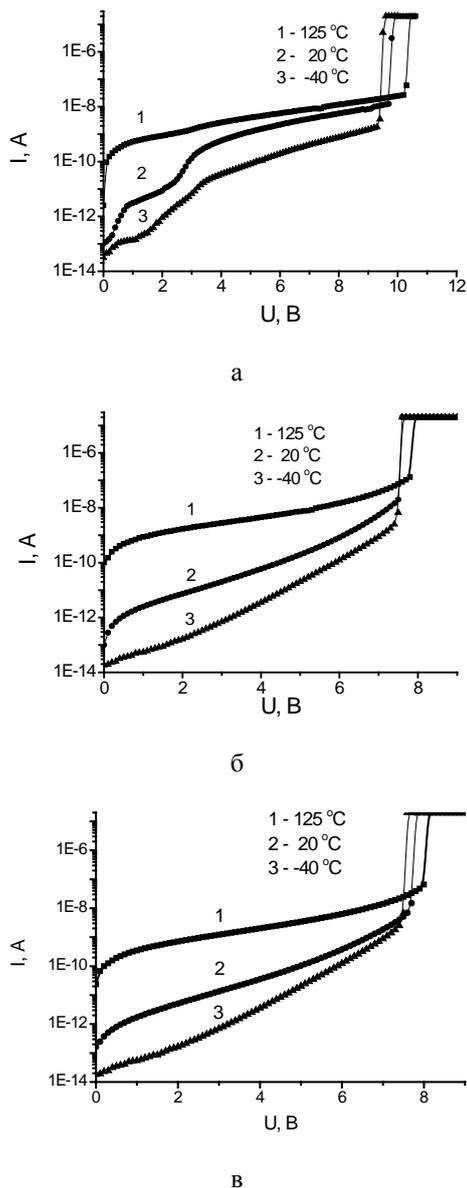
Наличие в микроплазменном канале глубоких центров (ГЦ) приводит к эмиссии с них носителей заряда, что существенно влияет на параметры пробоя даже в тех случаях, когда концен-

трация ГЦ на много порядков величины меньше концентрации легирующих примесей. Поэтому примесная атмосфера и структурные дефекты микроплазменных каналов являются определяющими факторами при разработке генераторных диодов, учитывая их возможное влияние на основные параметры вольт-амперных характеристик диодов. В связи с этим актуальным является исследование электрофизических параметров генераторных диодов.

В работе исследованы электрофизические параметры кремниевых диодов-генераторов шума ND102, ND104, изготовленных по планарной диффузионной технологии формирования цилиндрических *p-n*-переходов малого диаметра (<10 мкм) с защитой от поверхностного пробоя [3] на основе подложек монокристаллического кремния марки 3А2яКДБ0.03(111)4°-460, и диодов-генераторов шума ND201, изготовленных по аналогичной технологии на основе подложек монокристаллического кремния марки 3А2яКДБ0.005(111)4°-460. Глубина *p-n*-перехода, сформированного диффузией, фосфора составляла ~ 6 мкм. Амплитуда шумов в области лавинного пробоя составляла ~ 100 мВ при токе 50 мкА, верхняя граница однородных шумов ≤ 3 МГц. Измерения вольт-амперных (ВАХ) характеристик диодов с целью определения влияния глубоких центров на электрофизические параметры приборов производились при температурах +125 °С, +20 °С и –40 °С.

Исследования прямых ветвей ВАХ показали, что для всех диодов данные характеристики имеют экспоненциальную зависимость, а напряжение открывания диодов 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. 1(а-в) представлены ВАХ диодов при обратном включении. С увеличением температуры измерений напряжение пробоя для всех диодов увеличивается, что обусловлено увеличением размеров области пространственного заряда вследствие изменения концентрации свободных носителей заряда.



а - ND 102, б - ND 104, в - ND 201.
Рисунок 1 – Обратные вольт-амперные характеристики диодов

Обратные ветви ВАХ имеют активационный характер: при увеличении обратного напряжения ток диода не остается постоянным и равным току насыщения I_0 . Одной из причин увеличения тока является термическая генерация носителей заряда в области обеднения р-п-перехода. Другой причиной увеличения обратного тока с ростом обратного напряжения является расширение области пространственного заряда, результатом чего является увеличение количества центров, с

которых происходит генерация носителей заряда. В данном случае зависимость обратного тока от напряжения должна иметь следующий вид [1]: $I_{обр} \sim U^{1/2}$. Однако, проведенный анализ показал, что во всех случаях имеется более сильная зависимость. Это позволяет сделать вывод, что существенную роль в формировании обратного тока диодов играет термическая генерация с глубоких примесей носителей в области пространственно заряда, расширяющейся с увеличением обратного напряжения. При этом, как видно из рис.1а, для диодов ND102 на кривых ВАХ имеется ступенька в районе 3 В. Это обусловлено, вероятно, термической генерацией носителей с глубоких уровней, обусловленных ГЦ, при попадании их в область пространственного заряда и смещением уровня Ферми вследствие расширения области пространственного заряда при увеличении напряжения. Данный факт позволяет говорить о неоднородном распределении технологических примесей с глубокими уровнями по объему кристалла.

Следует также отметить, что величины обратных токов для диодов ND201 (рис.1в) во всех случаях меньше, чем для диодов ND102 (рис.1а) и ND104 (рис.1б). Это обусловлено различием в уровнях основного легирования и длинах экранирования Дебая, определяющих размеры области пространственного заряда, в которых происходит генерация носителей заряда, определяющих обратный ток диодов.

Таким образом, установлено, что обратный ток и, соответственно, пробой в генераторных диодах обусловлены ионизацией составляющих основу микроплазм технологических примесей, распределенных неоднородно по объему кристалла.

1. Грехов, И.В. Лавинный пробой р-п-перехода в полупроводниках / И.В. Грехов, Ю.Н. Сеержкин – Л.:Энергия, 1980.-152 с.
2. Буслюк, В.В. Электрофизические параметры генераторных диодов для создания широкополосного шума / В.В. Буслюк, В.С. Просолович, Ю.Н.Янковский, В.В. Черный // Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2013», 20–22.11.2013, БНТУ, Беларусь, г. Минск, 2013, стр 271-272.
3. Аладинский, В.К., / В.К. Аладинский, В.И. Дашин, А.С. Сущик и др.// Радиотехника и электроника. – 1973. Т.18, №2. –С.342-349.с.