

ФЛУКТУАЦИИ ЛАВИННОГО ТОКА НА НЕРЕГУЛЯРНОСТЯХ СТРУКТУР ДИОДНОГО ТИПА

С.С. ДЕРЕЧЕННИК¹, В.В. БУСЛЮК², Ю.Н. ЯНКОВСКИЙ³, А.М. СТИБУК⁴

¹Брестский государственный технический университет
ул. Московская, 267, г. Брест, 224017, Республика Беларусь
cm@brest.by

²Научно-исследовательское унитарное предприятие «СКБ Запад»
ул. Суворова, 96/1, г. Брест, 224022, Республика Беларусь
skbwest@rambler.ru

³Белорусский государственный университет
пр-т Независимости, 4, г. Минск, 220030, Республика Беларусь
yankouski@bsu.by

⁴Открытое акционерное общество «Цветотрон»
ул. Карьерная, 11, г. Брест, 224022, Республика Беларусь
postmaster@tsvetotron.com

Создание твердотельных источников широкополосного шума является одним из важнейших направлений развития электронных систем защиты информации. В этой связи большой интерес представляют кремниевые диоды, генерирующие электрический шум вследствие микроплазменного характера лавинного пробоя p - n -перехода. Интенсификация формирования микроплазм возможна за счет управляемого формирования структурных, фазовых и геометрических нерегулярностей в p - n -переходе и пленочном планарном контакте прибора.

Ключевые слова: кремниевый генератор шума, структурно-геометрическая нерегулярность, наноструктура, лавинный пробой, токовые флуктуации.

Последние десятилетия характеризуется интенсивным развитием электронных систем обработки и защиты информации, предназначенных, в том числе, для портативных устройств. Используемые в таких системах твердотельные приборы, в частности, кремниевые генераторные диоды, должны обеспечивать получение шумового сигнала, оптимального по амплитудным, частотным и статистическим характеристикам. Основой работы современных генераторных диодов являются ударная ионизация и лавинный пробой p - n -переходов. Лавинный пробой реального перехода обычно имеет микроплазменный характер и сильно локализован [1]. Микроплазмы, как правило, располагаются в местах скопления различного рода дефектов и несовершенств [2]. В связи с этим актуальными представляются исследования закономерностей образования структурно-фазовых, геометрических и топологических нерегулярностей в планарных кремниевых структурах, в том числе в тонкопленочных системах на основе силицид- и оксидобразующих металлов.

В качестве объекта исследования были выбраны диоды-генераторы шума ND103, амплитудные и частотные параметры которых превосходят показатели других приборов аналогичного назначения. Основу структуры, не содержащей эпитаксиального слоя кремния, образует подложка 3A2яКДБ0.03(111)4^o-460, в которую последовательно проводятся две селективные диффузии фосфора для формирования p - n -переходов: кольцевого (защитного) глубиной 8 мкм с напряжением пробоя 12 В, и центрального (рабочего) глубиной 1 мкм с напряжением пробоя около 9 В. К рабочей области формируется пла-

нарный пленочный контакт Si-V/Ag. Особенности технологии формирования исследуемой структуры являются: длительные высокотемпературные (1050°C и 900°C) воздействия при диффузии, низкотемпературное (320°C) напыление пленки планарного контакта, среднетемпературное (460...520°C) воздействие при герметизации кристалла в корпус. Целью исследования явилось изучение нерегулярностей структуры элементов планарного кремниевого диода как существенных факторов интенсивной генерации широкополосного электрического шума при лавинном пробое *p-n*-перехода.

В работе выполнено имитационное моделирование физического осаждения монослоя и тонких пленок металла на кремниевую подложку, а также экспериментальные исследования: поверхностной плотности дислокаций в подложке, температурных зависимостей электрических характеристик *p-n*-перехода и параметров шумового сигнала диода в различных токовых режимах [3-5].

Низкое удельное сопротивление кремниевых подложек достигается за счет высокой, близкой к пределу растворимости, концентрации легирующих примесей, что обуславливает существование дислокаций с поверхностной плотностью до 100 см^{-2} . В такой системе, наряду с точечными структурными дефектами, присутствуют атомы технологических (фоновых) примесей, таких как медь и железо, которые образуют в кремнии неупорядоченный твердый раствор, нарушающий периодичность кристаллической решетки.

В результате вычислительных экспериментов получены модельные образцы тонких металлических пленок, исследованы их топологические (координационное и контактное числа, форма зерен) и структурно-морфологические характеристики (микропористость, фрактальная размерность кластеров). Установлена слабая упорядоченность и сравнительно малая плотность тонких пленок металла, осаждаемых на подложку с невысокой температурой. В результате высокоэнергетичного процесса легирования формируются фрактальные поверхности раздела (пленочного контакта к кремнию, а также собственно границы *p-n*-перехода) с многочисленными, случайно локализованными нерегулярностями наноразмерного уровня. Одновременно возрастает и структурно-фазовая неоднородность пленок, в том числе за счет образования металлических соединений различного стехиометрического состава.

Нерегулярности, обусловленные структурно-кристаллическим несовершенством подложки, фазовой неоднородностью состава пленочных элементов, а также фрактальной геометрией поверхностей раздела *p-n*-перехода и пленочной контактной системы, приводят к локальным сужениям области пространственного заряда и увеличению в этих местах напряженности электрического поля, инициируя, таким образом, флуктуации лавинного тока за счет интенсивного образования микроплазм при пробое перехода. Геометрический масштаб всех названных нерегулярностей позволяет относить их к так называемым наноструктурам, а сам объект исследования – к наносистемной технике.

Список литературы

1. Грехов И.В., Сержкин Ю.Н. Лавинный пробой *p-n*-перехода в полупроводниках. Л., 1980.
2. Ионычев В.К., Ребров А.Н. // ФТП, 2009. Т. 43, № 7. С. 980–984.
3. Дереченник С.С., Баранов В.В., Раткевич А.В. и др. // Вестник Полоцкого государственного университета, 2004. № 11. С. 79–85.
4. Буслюк В.В., Ворончук С.И., Лешкевич И.В. // Тр. V Междунар. науч. конф. «Материалы и структуры современной электроники». Минск, 10-11 октября 2012. С. 24–27
5. Буслюк В.В., Просолович В.С., Янковский Ю.Н. и др. // Матер. 6-й междунар. НТК «Приборостроение-2013». Минск, 20–22 ноября 2013. С. 271–272.