

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.382.2

Домасевич  
Кирилл Владимирович

Конструктивно-технологические методы формирования структур изделий  
интегральной электроники с оптимизированными параметрами

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные  
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

---

Научный руководитель

Соловьёв Ярослав Александрович  
кандидат технических наук, доцент

---

Минск, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Для решения всевозможных задач в жизни человека сегодня используется целый спектр электронных устройств, начиная с простых дискретных приборов – транзисторов, диодов, тиристоров, и заканчивая сложными микропроцессорными системами. В подавляющем большинстве случаев для создания таких устройств используют исключительно полупроводниковую твердотельную активную элементную базу. Так, в качестве главного объекта исследования в данной работе был выбран представитель ограничительных диодов – узко определенного подкласса стабилитронов – а именно TVS-диод (Transient Voltage Suppressor).

В реальных условиях эксплуатации электронного оборудования в его цепях могут возникать различные виды электрических перегрузок, наиболее опасными из которых являются перегрузки по напряжению (перенапряжения). Для защиты цепей оборудования от воздействия электрических перегрузок могут использоваться разнообразные методы, основными из которых являются: конструкционные, структурно-функциональные, схемотехнические. Применение TVS-диодов, называемых в отечественной литературе «супрессорами», «полупроводниковыми ограничителями напряжения (ПОН)» или «диодами для подавления переходных процессов (ППН)» – пример использования активной схемотехнической защиты.

Несмотря на широкую востребованность на рынке ограничительных диодов в литературе отсутствуют теоретические основы расчёта их конструктивно-технологических параметров. Рынок представлен небольшим списком производителей TVS-диодов старающихся максимально защитить свои продукты. В частности, не только конструкция, технология получения, но и методика проектирования являются коммерческими тайнами. При этом основным методом разработки не только TVS-диодов, но многих других полупроводниковых электронных устройств, все чаще становится метод обратной разработки (обратный инжиниринг, реверс-инжиниринг; англ. reverse engineering), что в некотором роде тормозит развитие науки и техники.

Целью данной работы является разработка теоретических основ формирования ограничительных диодов с заданными потребительскими свойствами.

В ходе работы будут решены следующие задачи:

- установление связи эксплуатационных характеристик и статических параметров ограничительных диодов;
- разработка конструкции (топологии) диода, обеспечивающий заданный набор статических параметров;
- разработка технологии формирования структур.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации.** Для защиты электрических цепей от импульсного перенапряжения используют разнообразные методы, особенно популярные – схематические, т.е. с применением специальных электронных компонентов. Одним из них является TVS–диоды, а именно полупроводниковые ограничители напряжения. В настоящий момент востребованность на рынке таких приборов очень высока, при этом, в открытом доступе отсутствуют теоретические основы расчета их конструктивно-технологических параметров.

**Цели и задачи исследования.** Основной целью настоящей работы является разработка теоретических основ формирования ограничительных диодов с заданными потребительскими свойствами. Исходя из этого, конкретные задачи данной работы состояли в следующем:

- установление связи эксплуатационных характеристик и статических параметров ограничительных диодов;
- разработка конструкции (топологии) диода, обеспечивающего заданный набор статических параметров;
- разработка технологии формирования структур ограничительных диодов.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Закономерности между конструктивно-технологическими и электрическими параметрами TVS-диодов;
2. Конструкция, топология, способ формирования TVS-диода с заданными потребительскими свойствами.

**Практическая значимость полученных результатов.** Практическая значимость проводимых научных исследований связана с необходимостью формирования методологической базы для проектирования конкурентоспособных изделий микроэлектроники в противовес методу обратных разработок на отечественных предприятиях, в частности семейства ограничительных диодов.

**Личный вклад соискателя.** Основные результаты, изложенные в работе, получены автором самостоятельно. Автор проводил анализ существующих конструкций, топологий TVS-диодов, их электрических параметров, эксплуатационных характеристик, а также сопровождения изготовления экспериментальные образцов, их исследование. Научному руководителю в совместных работах принадлежат предметные постановки задач, выбор направлений исследования, руководства при проведении экспериментальных исследований и анализе полученных результатов.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав, заключения и списка использованных источников, включающего 23 наименований. Общий объем диссертации составляет 60 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрены основные методы борьбы с различного рода импульсами в электрических сетях, защиты оборудования от перенапряжений, дается обоснование актуальности темы диссертационной работы, приводится краткое описание объекта исследования и формулируются задачи и цель исследования, а также средства и методы применяемые в работе.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цели и задачи, обоснована актуальность темы магистерской диссертации, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, практической значимости полученных результатов, а также структура и объем диссертации.

В **первой главе** подробно рассмотрен основной объект исследования TVS-диод, а именно, его место среди обширного семейства полупроводниковых диодов, применение, особенности конструкции. Затронуты вопросы защиты электрических цепей, оборудования, особенности выбора электронных компонентов и их параметров при проектировании. Также проведен краткий обзор рынка защитных диодов.

Во **второй главе** приводится качественный и количественный анализ основных эксплуатационных характеристик TVS-диода и производится расчет конструктивно-технологических параметров его структуры обеспечивающих эти характеристики.

**Третья глава** посвящена особенностям изготовления экспериментальных образцов на производстве №4 филиала «Транзистор» ОАО «Интеграл», используемом оборудовании.

В **четвертой главе** приводятся основные сведения о результатах изготовления экспериментальных образцов TVS-диода – аналога LESD9D5.0CT5G фирмы LRC. В частности, приведены результаты измерения параметров структуры как в процессе изготовления кристалла, так и после сборки в корпус.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, основные выводы теоретической части а также результаты изготовления экспериментальных образцов TVS-диодов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над магистерской диссертацией был проведен обзор методов и реализующих их устройств для защиты электрических сетей и оборудования от перенапряжений, TVS-диода в частности. В работе приводится качественный и количественный анализ основных эксплуатационных характеристик TVS-диода и производится расчет конструктивно-технологических параметров его структуры обеспечивающих эти характеристики.

Разработана конструкция, топология и технологический маршрут изготовления структур TVS-диода, аналога LESD9D5.0CT5G фирмы LRC. В процессе изготовления экспериментальных образцов обнаружен ряд особенностей конструкции, определяющих последующие эксплуатационные характеристики прибора, выделены наиболее критичные операции технологического маршрута. Так, важным фактором, на который не акцентируется внимание в литературных источниках, стало соблюдения симметричности ВАХ двунаправленного TVS-диода. В процессе оптимизации маршрута изготовления для обеспечения этой симметричности установили, что дифференциальное сопротивление сильно зависит от концентрации бора в аноде с планарной стороны, также наблюдается снижение  $U_{OBR}$  с уменьшением толщины подложки.

В результате проведенной работы решены все поставленные задачи и достигнута основная цель - разработка теоретических основ формирования ограничительных диодов с заданными потребительскими свойствами – выявлены основные закономерности между конкретными конструктивно-технологическими параметрами кристалла и паспортными характеристиками готового прибора.

Результаты данной работы позволяют в сжатые сроки осуществить разработку и постановку на производство широкой линейки TVS-диодов, различных типонаминалов.