УДК 537.633.2

В.Н. Ануфриев, А.В. Козлов

(Москва, НИУ МИЭТ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА ХОЛЛА С P-N ПЕРЕХОДАМИ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В SENTAURUS TCAD**

*Аннотация: В статье проведено исследование новой конструкции датчика Холла средствами приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD. Указаны достоинства конструкции, исследовано влияние напряжения Холла от выбранных топологических размеров.*

*Annotation: The article presents a study of the new design of the Hall sensor by means of device-technological modeling Sentaurus TCAD. The advantages of the design are indicated, the influence of the Hall voltage on the selected topological dimensions is investigated.*

*Ключевые слова: Synopsys Sentaurus TCAD, магнитная чувствительность, датчик Холла.*

*Keywords: Synopsys Sentaurus TCAD, magnetic sensitivity, Hall field sensor*

Интерес к датчикам магнитного поля не угасает уже на протяжении нескольких десятков лет, что связано с разработкой большого количества электронных приборов, работающих на измерении параметров магнитного поля. Среди них бесконтактные измерители постоянного тока, системы диагностики трубопроводов, счетчики оборотов движущихся частей в изделиях автомобиле- и авиастроения, томографы в медицине и др. [1]. С каждым годом к датчикам магнитного поля предъявляется всё больше требований: повышение радиационной стойкости и диапазона температур; снижение потребляемой мощности; уменьшение размеров; возможность изготовления в едином технологическом маршруте всей схемы; размещение на одном кристалле всех элементов, измеряющих x, y и z-компоненты магнитного поля и др.

Ранее было показано, например [2], существует много конструкций магниточувствительных элементов, отличающихся технологиями изготовления, принципами работы и набором критериев качества, однако наиболее популярными среди них остаются датчики Холла. Реализация датчиков Холла может быть различной, в этой работе проводилось исследование средствами математического моделирования датчика Холла с крестовидной топологией, сформированного в n-слое с переменной концентраций донорной примеси, расположенного между подложкой и слоем p+типа.

Внешний вид датчика, используемого в приборно-технологическом моделировании в *TCAD*, приведен на рис.1.

Принцип работы интегрального магниточувствительного датчика Холла с двумя p-n переходами (ИМДХ) схож с принципом работы классического интегрального датчика Холла. Отличие заключается в том, что ИМДХ, сформированный в диффузионной области N-типа располагается между подложкой p-типа и P+-диффузионной областью. Наличие двух p-n переходов p+–n и p-substrate-n-тип позволяет модулировать активную толщину N- слоя с помощью обратного смещения этих p-n переходов (на рис.1 толщина n-слоя – расстояние между пунктирными линиями). Таким образом, ток, протекающий в N-слое между истоком и стоком (подобно МДП транзистору), в магнитном поле, и обеспечивающий разность потенциалов между контактами H1 и H2 зависит не только конструкции датчика, технологии его изготовления и потенциала стока *Vds*, но также от напряжения P+–исток *Vp+-s* и P-SUBSTRATE–исток Vp-sub-s.



*Рис.1. – Структура интегрального датчика Холла с двумя p-n переходами. Обозначения: P+– диффузионная область p-типа с высокой концентрацией, N- – диффузионная область n-типа с низкой концентрацией, P-SUBSTRATE – кремниевая подложка p-типа (КДБ-12), Sub1-4 – распределенный контакт к подложке p-типа, p+cont – контакт к P+-слою -, S – контакт к области истока (слой N-типа), D – контакт к области стока (слой N-типа), H1 и H2 – холловские контакты 1 и 2.*

Осуществлялось математическое моделирование ВАХ зависимостей тока стока, потенциалов контактов H1 и H2 в среде *Synopsys TCAD*. На основе рассчитанных потенциалов электродов H1 и H2 вычислялось напряжения Холла *VH* по формуле (1).

 (1)

Трехмерная структура ИМДХ задавалась аналитически в редакторе *Ligament Flow Sentaurus TCAD*. Концентрация акцепторной примеси (бор) в подложке выбиралась NA=1.2·1016 см-3 , толщина подложки – 10 мкм. Слой N-типа, толщиной 2 мкм, имел спадающую концентрацию от 7,42·1017 см-3 на границе с p+-слоем до 1,2·1016 см-3 в подложке. Слой P+-типа, толщиной 0,2 мкм, имел спадающую концентрацию от 3·1021 см-3 на поверхности до 7·1017 см-3 на границе со слоем N-типа. На поверхности формировались контактные окна к областям, в соответствии с рис.1. Взаимное расположение областей и контактов прибора задавались в топологическом редакторе *Ligament Layout Synopsys TCAD*.

Расчет электрических ВАХ и электрофизических параметров областей прибора осуществлялся в программе *SDEVICE Sentaurus TCAD*. Применялось диффузионно-дрейфовая модель, учитывающая вычисление токов и потенциалов прибора на основе системы уравнений непрерывности для электронов и дырок и уравнения Пуассона в узлах сетки конечных элементов. Построение ВАХ и вычисление напряжения Холла в соответствии с (1) осуществлялось в программе *INSPECT Sentaurus TCAD*, двумерные и трехмерные распределения электрофизических параметров строились в программе *Tecplot SV Sentaurus TCAD*. Отдельно параметры модели не уточнялись, т.к. электрические и технологические параметры модели и результаты моделирования соответствовали ранее экспериментально изготовленным и измеренным образцам приборов ИМДХ.

Датчик Холла подключался к электрический цепи по схеме с общим истоком. На электрод стока устанавливалось постоянное напряжение сток – исток Vds = 2 В, контакт P+ электрически замыкался с распределенным контактом подложки P-SUB, на которые относительно истока подавалось обратное напряжение Vp-sub-p+ – s = -2 В.

Расстояние между краями противоположных лепестков N-слоя исходной конструкции ИМДХ (параметр «A» на рис.2) составляло 100 мкм. Длина лепестков «крестовидного» N-слоя (параметр «B») – 50 мкм. Длина омических контактов к N-слою (параметр «C») – 45 мкм. Ширина омических контактов не изменялась и составляла 2 мкм.



*Рис.2 - Топология N-слоя (активная область)*

Путем математического моделирования исследовано влияния магнитного поля, направленного ортогонально поверхности кристалла вглубь ИМДХ, на величину напряжения Холла, рассчитываемого по формуле (1). Результаты представлены на рис.3. Величина магнитной индукции изменялась от 0 до 1Тл.

Рис.3 Влияние магнитного поля на напряжения Холла ИМДХ при *Vds* = 2В и *Vp+-s* = -2В

С целью поиска оптимальной по напряжению Холла конструкции ИМДХ проводилось исследование влияния параметров «В» и «С» на *VH*. В расчетах параметр «В» имел следующие значения: 10, 20, 35, 50, 65 и 80 мкм, соответственно. При этом параметр «С» (длина омического контакта к «лепесткам» *N-*слоя) в каждом случае на 5 мкм был меньше, т.е. действовало правило «С»=«B»-5. Ширина омического контакта *N-* составляла 2 мкм, контакт располагался симметрично относительно «лепестка» слоя. Результаты моделирования представлены на рис.4.

Как видно из рис.4, на графике имеется экстремум – точка максимума приходится на 50 мкм длины «лепестка», при этом максимальное напряжение Холла соответствует конструкции датчика с соотношением параметров А/В = 2. Минимальный размер параметра «B» в данном исследовании ограничен размером параметра «С», а максимальный – размером параметра «A».

Рис.4 Влияние конструктивного параметра «В» на напряжение Холла датчика, работающего в магнитном поле 30 мТл при *Vds* = 2В и *Vp+-s* = -2В

Также проводилось исследование влияние размера параметра «С» при размерах параметра «В», равного 50 и 80 мкм, соответственно. Размер параметра «А» не изменялся. На рис.5 представлена зависимость напряжения Холла датчика от размера параметра «С» при размере параметра «В»=50мкм.

Рис.5. Влияние конструктивного параметра «С» на напряжение Холла датчика, работающего в магнитном поле 30 мТл при *Vds* = 2В и *Vp+-s* = -2В при размере параметров «B»=50 мкм и «A»=100 мкм.

Заключение. Средствами Sentaurus TCAD проведено исследование интегрального магниточувствительного датчика Холла с p-n переходами. Особенностью такой конструкции является возможность модулирования толщины рабочего n-слоя датчика, расположенного между p-n переходами p+-n-слой и n-слой-p-подложка. Проведено исследование напряжение Холла от латеральных размеров «крестовидной» топологии. В частности, установлено, что максимум напряжения Холла соответствует ширине «лепестка», равной половине ширины датчика Холла. Напряжение Холла также растет с увеличением ширины омического контакта к «лепесткам» крестовидной структуры датчика.

**Список литературы**

1. John L. Simonds Magnetoelectronics Today and Tomorrow PHYSICS TODAY, 04.1995, pp.25-32

2. Интегральные датчики Холла компании Honeywell, Датчики. Обзоры. стр.9-13, www.beriled.biz