

**СЕКЦИЯ «ПРИМЕНЕНИЕ САПР В ЭЛЕКТРОНИКЕ, ФИЗИКЕ,
РАДИОТЕХНИКЕ И СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

УДК 537.633.2

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e5de650781.53271413

В.Н. Ануфриев, А.В. Козлов

(г. Москва, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»)

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

Исследована новая конструкция датчика Холла средствами приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD. Указаны достоинства конструкции, исследовано влияние напряжения Холла от выбранных топологических размеров.

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 V_{ds} , но также от напряжения P+-исток V_{p+-s} и P-SUBSTRATE-исток $V_{p-sub-s}$.

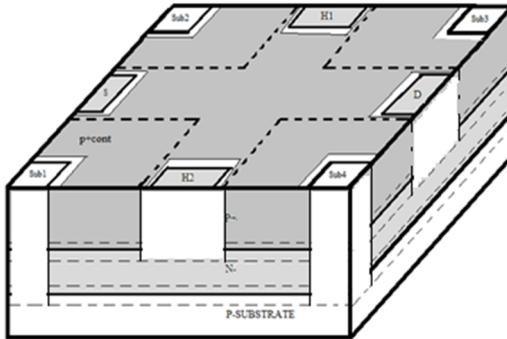


Рис.1. Структура интегрального датчика Холла с двумя p-n переходами.

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 V_H по формуле (1).

$$V_H = V_{H1} - V_{H2} \quad (1)$$

Трехмерная структура ИМДХ задавалась аналитически в редакторе *Ligament Flow Sentaurus TCAD*. Концентрация акцепторной примеси (бор) в подложке выбиралась $N_A=1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, толщина подложки – 10 мкм. Слой N-типа, толщиной 2 мкм, имел спадающую концентрацию от $7,42 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ на границе с p+-слоем до $1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ в подложке. Слой P+-типа, толщиной 0,2 мкм, имел спадающую концентрацию от $3 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ на поверхности до $7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ 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 BAX 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 BAX 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 электрической цепи по схеме с общим истоком. На электрод стока устанавливалось постоянное напряжение сток – исток $V_{ds} = 2 \text{ В}$, контакт P+ электрически замыкался с распределенным контактом подложки P-SUB, на которые относительно истока подавалось обратное напряжение $V_{p-sub-p+ - s} = -2 \text{ В}$.

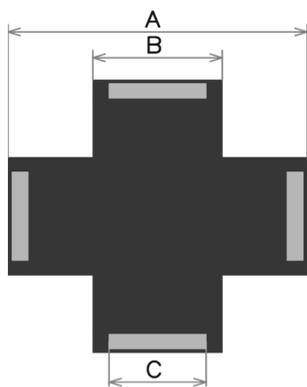


Рис.2. Топология N-слоя (активная область)

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

Путем математического моделирования исследовано влияние магнитного поля, направленного ортогонально поверхности кристалла в глубь ИМДХ, на величину напряжения Холла, рассчитываемого по формуле (1).

Результаты представлены на рис.3. Величина магнитной индукции изменялась от 0 до 1 Тл.

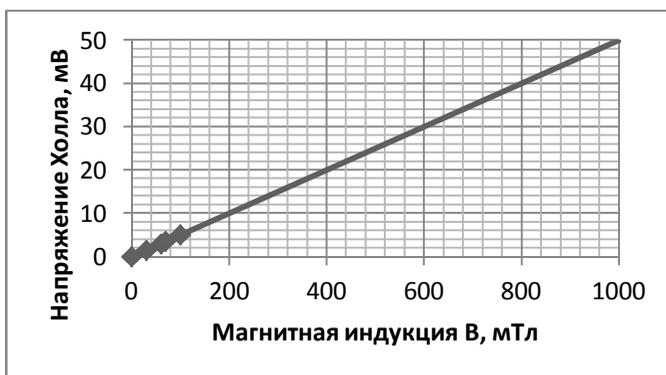


Рис.3. Влияние магнитного поля на напряжения Холла ИМДХ при $V_{ds} = 2V$ и $V_{p+s} = -2V$

С целью поиска оптимальной по напряжению Холла конструкции ИМДХ проводилось исследование влияния параметров «В» и «С» на V_H . 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»=«В»-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 $A/B = 2$. Минимальный размер параметра «В» в данном исследовании ограничен размером параметра «С», а максимальный – размером параметра «А».

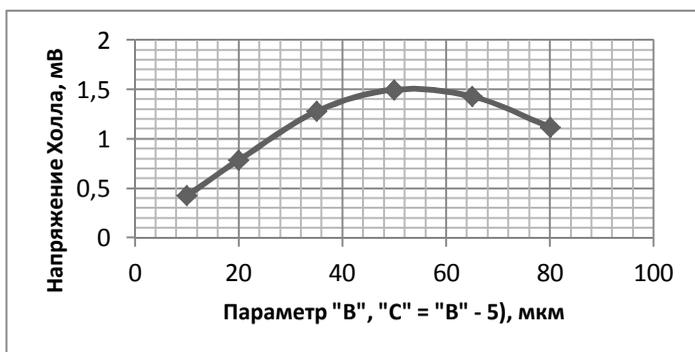


Рис.4. Влияние конструктивного параметра «В» на напряжение Холла датчика, работающего в магнитном поле 30 мТл при $V_{ds} = 2V$ и $V_{p+s} = -2V$

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.

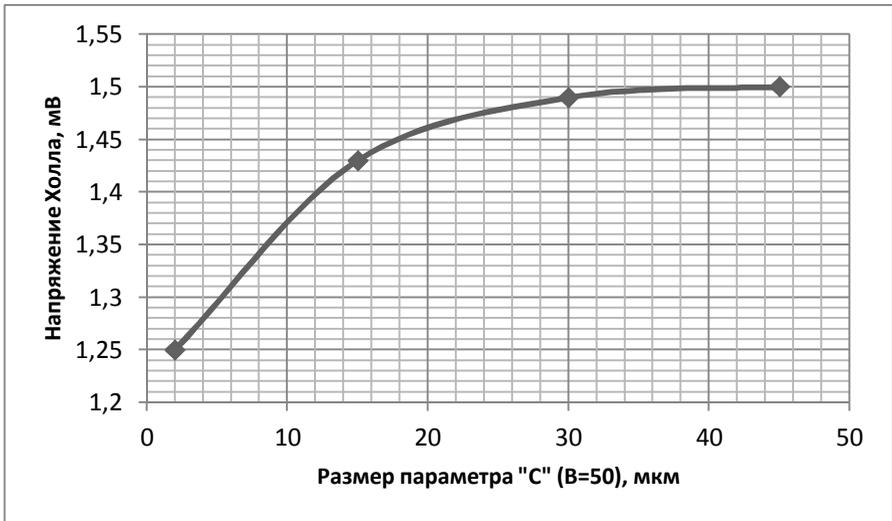


Рис.5. Влияние конструктивного параметра «С» на напряжение Холла датчика, работающего в магнитном поле 30 мТл при $V_{ds} = 2В$ и $V_{p+-s} = -2В$ при размере параметров «В»=50 мкм и «А»=100 мкм.

Закключение. Средствами Sentaurus TCAD проведено исследование интегрального магниточувствительного датчика Холла с р-п переходами. Особенностью такой конструкции является возможность модулирования толщины рабочего п-слоя датчика, расположенного между р-п переходами р+-п-слой и п-слой-р-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* Magnetoelctronics Today and Tomorrow // PHYSICS TODAY, 04.1995. – P.25-32.
2. Интегральные датчики Холла компании Honeywell, Датчики. Обзоры. – С. 9-13, www.beriled.biz.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.