

Физическая модель полевого датчика Холла на основе КНИ-структуры

М.А. Королёв¹, М.И. Павлюк², С.С. Девликанова¹

¹Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия

²АО «ПКК Миландр», г. Москва, Россия

petrunina.s@mail.ru

Исследования в области создания новых структур датчиков Холла с улучшенными характеристиками, в частности с повышенной магниточувствительностью, широко востребованы.

Предложена физическая модель, объясняющая особенности холл-затворной характеристики и возникновение области повышенной магниточувствительности КНИ полевого датчика Холла (КНИ ПДХ). Результаты моделирования в системе Synopsys TCAD подтверждают предложенную физическую модель функционирования КНИ ПДХ. Модель объясняет особенности холл-затворной характеристики КНИ ПДХ в широком диапазоне напряжений на затворе и позволяет сделать вывод, что КНИ ПДХ имеет две рабочие области функционирования и их выбор определяется конкретными условиями применения датчика.

Для достижения максимальной магниточувствительности необходимо выбрать области неполного обеднения и обогащения. Для обеспечения высокой помехоустойчивости целесообразно выбрать режим полного обогащения.

Ключевые слова: полевой датчик Холла на основе КНИ; повышенная магниточувствительность; режим неполного обеднения и обогащения; режим полного обогащения.

Для цитирования: Королёв М.А., Павлюк М.И., Девликанова С.С. Физическая модель полевого датчика Холла на основе КНИ-структуры // Изв. вузов. Электроника. – 2017. – Т.22. – №2. – С. 166–170. DOI: 10.24151/1561-5405-2017-22-2-166-170

Physical Model of SOI Field-Effect Hall Sensor

M.A. Korolev¹, M.I. Pavlyuk², S.S. Devlikanova¹

¹National Research University of Electronic Technology,
Russia, Moscow

²JSC «ICC Milandr», Russia, Moscow

petrunina.s@mail.ru

Studies in the field of creating new structures of Hall sensors with improved characteristics, in particular with increased magnetics sensitivity, are very promising.

In this study, we derive an analytical model that explains the features of Hall-gate characteristics and appearance of the area of high magnetics sensitivity of the SOI field-effect Hall sensor. The simulation results in the Synopsys Sentaurus TCAD confirm the analytical model proposed in this work. The proposed physical model explains the features of the Hall-gate characteristics of SOI FEHS in a wide range of gate voltages and allows us to conclude that the SOI FEHS has two working areas of operation and their choice is determined by the specific conditions of the sensor application. It is necessary to select the mode of partially depletion and enhancement to achieve maximum magnetics sensitivity. It is advisable to select a full enhancement mode to provide high noise immunity.

Keywords: SOI field-effect Hall sensor; increased magnetic sensitivity; the partial depletion mode and saturation, full depletion mode.

For citation: Korolev M.A., Pavlyuk M.I., Devlikanova S.S. Physical Model of SOI Field-Effect Hall Sensor // Proc. of universities. Electronics. – 2017. – Vol.22. – №2. – P. 166–170. DOI: 10.214151/1561-5405-2017-22-2-166-170

Введение. В настоящее время для измерения магнитных полей широко применяются датчики Холла, способные измерять индукцию магнитного поля и бесконтактно определять механические и электрические воздействия. Они широко востребованы в медицине, автомобилестроении, дефектоскопии, геологии, при создании позиционирующих и навигационных систем и во многих других областях. Вместе с тем проводятся исследования в области создания новых структур датчиков Холла с улучшенными характеристиками, в частности повышенной магниточувствительностью, которая пропорциональна подвижности носителей заряда в теле прибора [1].

В последнее время появились работы, описывающие датчики Холла на основе КНИ-структуры (КНИ ПДХ) с управляющими полевыми электродами [2–4]. Измерения экспериментальных образцов КНИ ПДХ в [3] показали наличие узкой области аномального скачка ЭДС Холла, определяющей магниточувствительность датчика холл-затворной характеристики прибора (рис.1,а). Однако авторы не объясняли причину возникновения этого эффекта. Как отмечено в работе [5], этот скачок ЭДС Холла может быть объяснен особенностью функционирования прибора в режиме неполного обеднения, когда тело датчика Холла представляет собой слой кремния, изолированный от двух границ с оксидом кремния областями пространственного заряда (ОПЗ). В этом случае обеспечивается минимизация захвата носителей заряда поверхностными ловушками и, соответственно, обуславливается их высокая подвижность, вследствие чего и наблюдается высокая магнитная чувствительность [4].

Физическая модель КНИ ПДХ. Для дальнейшего исследования особенностей функционирования КНИ ПДХ необходимо разработать физическую модель устройства, работающего в широком диапазоне напряжений на затворе. На основе высказанных предположений, а также экспериментальных данных (см. рис.1,а) можно представить холл-затворную характеристику КНИ ПДХ (рис.1,б), которая объясняет физику работы датчика Холла в широком диапазоне напряжений на верхнем затворе (физическая модель).

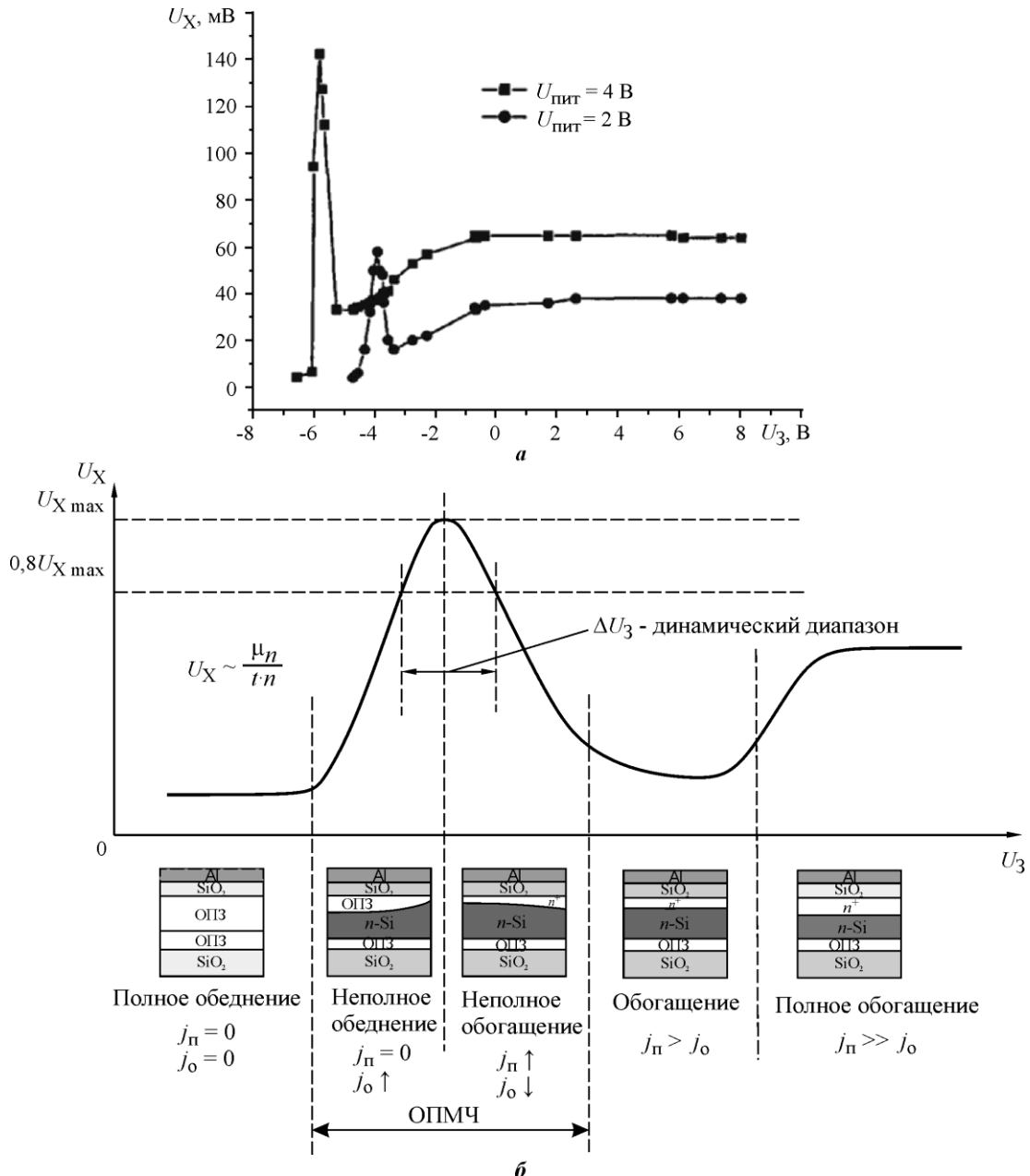


Рис.1. Холл-затворные характеристики КНИ ПДХ [2]: а – эксперимент; б – физическая модель (ОПМЧ – область повышенной магниточувствительности)

Согласно представленной холл-затворной характеристике датчик при приложении отрицательных напряжений на верхнем затворе находится в режиме полного обеднения, области ОПЗ сомкнуты и, соответственно, ток в теле датчика не течет (плотность тока на поверхности $j_n = 0$ и в объеме датчика $j_o = 0$).

При уменьшении приложенного отрицательного напряжения на верхний затвор происходит уменьшение толщины ОПЗ и образуется проводящий канал в теле КНИ ПДХ. Этот режим работы датчика называется неполным обеднением. Далее согласно модели при положительном потенциале на затворе наступает режим неполного обогащения, при котором ЭДС Холла и магниточувствительность начинают падать. В этом режиме работы датчика начинает образовываться проводящий канал на поверхности тела КНИ ПДХ, возникает процесс захвата носителей заряда поверхностными ловушками. При этом сохраняется ток и в объеме тела датчика. При дальнейшем увеличении положительного напряжения на затворе наступает режим обогащения, когда ток течет практически только в тонкой приповерхностной области тела КНИ ПДХ. При этом происходит интенсивный захват ловушками носителей заряда на поверхности раздела диэлектрик – полупроводник, вследствие чего подвижность в большей степени уменьшается, а следовательно уменьшается и магниточувствительность. Кроме того, подвижность носителей заряда снижается и вследствие увеличения поперечного электрического поля при дальнейшем увеличении напряжения на затворе (рис.2).

При дальнейшем увеличении положительного потенциала на затворе формируется достаточно толстый приповерхностный проводящий слой и вклад потерь на поверхностных ловушках в значение подвижности носителей заряда уменьшается. Датчик переходит в состояние полного обогащения, в результате чего наблюдается увеличение ЭДС Холла и магниточувствительности.

На основе предложенной модели проведено предварительное математическое моделирование в системе Synopsys TCAD холл-затворной характеристики КНИ ПДХ (рис.3). Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментом (см. рис.1,а) и подтверждают предложенную в настоящей работе физическую модель функционирования КНИ ПДХ.

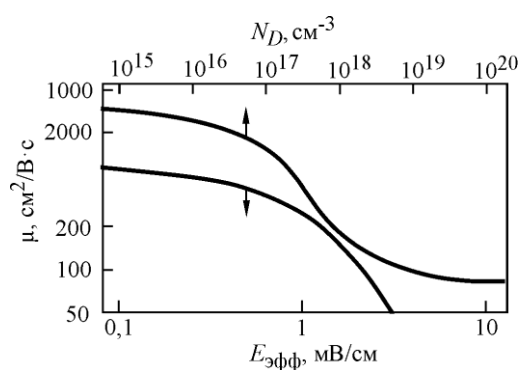


Рис.2. Зависимость подвижности электронов μ от электрического поля $E_{эфф}$ и концентрации примеси N_D

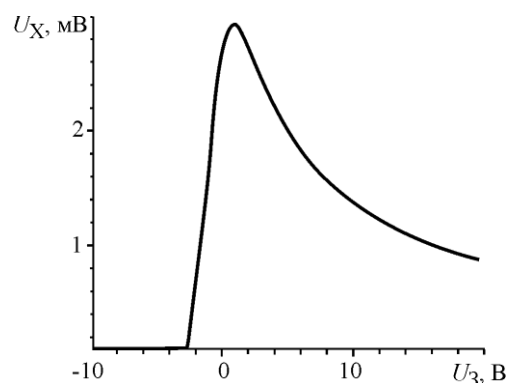


Рис.3. Зависимость ЭДС Холла от напряжения на затворе КНИ ПДХ при магнитном поле 30 мТ и напряжении на стоке 2 В

Закключение. Предложенная физическая модель КНИ ПДХ объясняет особенности холл-затворной характеристики датчика в широком диапазоне напряжений на затворе и позволяет сделать вывод, что КНИ ПДХ имеет две рабочие области функционирования и их выбор определяется конкретными условиями применения датчика.

В случае необходимости получения максимальной магниточувствительности датчика следует работать в областях неполного обеднения и обогащения, когда наблюдается максимальная подвижность носителей заряда. Однако, как следует из рис.1,а, динамический диапазон (интервал значений напряжения на затворе для этих областей) крайне мал, что сужает возможность их практического использования. Расширение это-

го диапазона является важной научно-технической задачей. К тому же низкая концентрация носителей заряда в теле датчика делает прибор чувствительным к внешним воздействиям (температуре, радиации).

Если высокая магниточувствительность не требуется, но необходимо работать в условиях повышенных внешних воздействий, целесообразно выбирать область полного обогащения, когда в проводящем канале наблюдается высокая концентрация носителей заряда.

Литература

1. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.
2. Some features of magnetometric and sensor devices based on the field effect Hall sensor / **M.L. Baranochnikov, A.V. Leonov, V.N. Mordkovich et al.** // *Advanced Electromagnetics Symposium: Proc.* (Paris, France, 2012). – 2012. – P.455–459.
3. Полевой датчик Холла – новый тип преобразователя магнитного поля / **В.Н. Мордкович, М.Л. Бараночников, А.В. Леонов и др.** // Датчики и системы. – 2003. – Вып. 7. – С.33–38.
4. **Королёв М.А., Козлов А.В., Петрунина С.С.** Особенности функционирования полевого датчика Холла на основе КНИ структур, предназначенного для работы в телекоммуникационных сетях // Тр. МФТИ. – 2015. – Т. 7. – № 3 – С. 91–95.
5. **Козлов А.В., Королёв М.А., Петрунина С.С.** Математическое моделирование влияния концентрации примеси на ток стока КНИ полевого датчика Холла // Изв. вузов. Электроника. – 2015. – №4. – С. 377–381.

Поступила 30.11.2016 г.; принята к публикации 24.01.2017 г.

Королёв Михаил Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры интегральной электроники и микросистем МИЭТ (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1).

Павлюк Михаил Ильич – генеральный директор АО «ПКК Миландр» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, Георгиевский проспект, д.5).

Девликанова Светлана Сергеевна – аспирант кафедры интегральной электроники и микросистем МИЭТ (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1), petrunina.s@mail.ru.

References

1. Baranochnikov M.L. *Mikromagnitoelektronika. T.1* [Micromagnetoelectronic.Vol.1]. Moscow, DMK Press, 2001, 544 p. (In Russian).
2. Baranochnikov M.L., Leonov A.V., Mordkovich V.N. et al. Some Features of Magnetometric and Sensor Devices Based on the Field Effect Hall Sensor. *Advanced Electromagnetics Symposium: Proc.*, Paris, France, 2012, pp.455–459.
3. Mordkovich V.N., Baranochnikov M.L., Leonov A.V., Mokrushin A.D., Omel'yanovskaya N.M., Pazhin D.M. Polevoj datchik kholla – novyj tip preobrazovatelya magnitnogo polya [Field Hall Sensor is a new type of transmitter magnetic field]. *Datchiki i sistemy – Sensors and Systems*, 2003, iss. 7, pp.33–38. (In Russian).
4. Korolyov M.A., Kozlov A.V., Petrunina S.S. Osobennosti funkcionirovaniya polevogo datchika KHolla na osnove KNI struktur, prednaznachennogo dlya raboty v telekommunikatsionnykh setyakh [Functioning Features of The SOI Field-Effect Hall Sensor Designed For Application in Telecommunications Networks]. *Tr. MFTI – Proceedings of MIPT*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 91–95. (In Russian).
5. Kozlov A.V., Korolyov M.A., Petrunina S.S. Matematicheskoe modelirovanie vliyaniya kontsentratsii primesi na tok stoka KNI polevogo datchika KHolla [Mathematical Simulation of Doping Concentration Influence on Drain Current Value of SOI Field-Effect Hall Sensor]. *Izv. vuzov. Elektronika – Proceedings of universities. Electronics*, 2015, vol.4, pp. 377–381. (In Russian).

Submitted 30.11.2016; accepted 24.01.2017