

Физические установки и аппаратура

УДК 621.382

Использование аномального эффекта Холла для считывания магнитной, оптической и электрической информации

О. К. Гусев

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Предложены принцип и метод одновременного считывания магнитной, оптической и электрической цифровой информации интегрированным датчиком, заключающиеся в преобразовании соответствующих входных сигналов в сигнал аномальной ЭДС Холла и анализе его значений согласно приведенному алгоритму.

Разработка многофункциональных однокристалльных датчиков считывания информации, переносимой сигналами различной природы (магнитными, оптическими и электрическими), представляет собой важную научно-техническую задачу [1–3].

Целью данной статьи является анализ возможности использования так называемого аномального эффекта Холла в полупроводниках [3] для преобразования совокупности цифровых информационных сигналов магнитного, оптического и электрического каналов одним многофункциональным датчиком и определения на этой основе их значений.

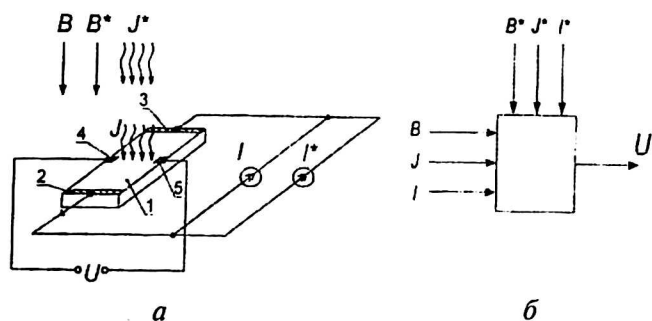


Рис. 1. Схема включения преобразователя (а) и его логическая схема (б)

Для моделирования датчика считывания информации использованы схематически изобра-

женные на рис. 1, а кристаллы $p\text{-InAs:Zn}$ ($p_0 \sim 1,1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) в виде параллелепипедов с размерами $1,2 \times 0,3 \times 0,05 \text{ см}$. Кристаллы механически полировались и обрабатывались в смеси $\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{CH}_3\text{COOH} = 1 : 5 : 1$, что приводило к формированию по поверхности инверсионного канала n -типа проводимости с поверхностной плотностью электронов в канале порядка $10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$ [4]. Контакты изготавливались напылением полупрозрачного слоя алюминия, расстояние между положительно смещенным холловским и токовыми контактами составляло $0,4 \text{ см}$.

Информационные каналы моделировались магнитным полем с индукцией B , перпендикулярной лицевой грани кристалла; электрическим током I между электродами 2, 3; оптическим излучением с интегральной плотностью мощности J в виде полоски белого света шириной $5 \cdot 10^{-2} \text{ см}$, соединяющей контакты 4, 5. Дополнительно к информационным каналам B, I, J была предусмотрена возможность использования параллельных им управляющих каналов B^*, I^*, J^* . Выходной сигнал датчика моделировался ЭДС Холла U , измерявшейся между электродами 4, 5.

Логическая схема преобразователя приведена на рис. 1, б. В качестве логических уровней для информативных параметров информационных и управляющих каналов приняты значения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Логические уровни информативных параметров магнитного, оптического и электрического сигналов

Информативные параметры каналов	Логические уровни информативных параметров		
	0	1	-1
Индукция магнитного поля B , Тл	$0 - 2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} - 1,5 \cdot 10^{-1}$	—
Интегральная плотность мощности белого света J , Вт/см ²	$0 - 10^{-5}$	$10^{-3} - 10^{-2}$	—
Сила тока I , А	$2 \cdot 10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-2} - 4 \cdot 10^{-2}$	—
Напряжение U , В	$-2 \cdot 10^{-5} - 10^{-5}$	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$	$-5 \cdot 10^{-4} + -10^{-4}$

На рис. 2 представлены зависимости выходного сигнала датчика — ЭДС Холла U от величины тока I при температуре 77 К, индукции магнитного поля 0,1 Тл ($B = 1$) в темноте (кривая 1, $J = 0$) и при освещении (кривая 2, $J = 1$) холловских контактов.

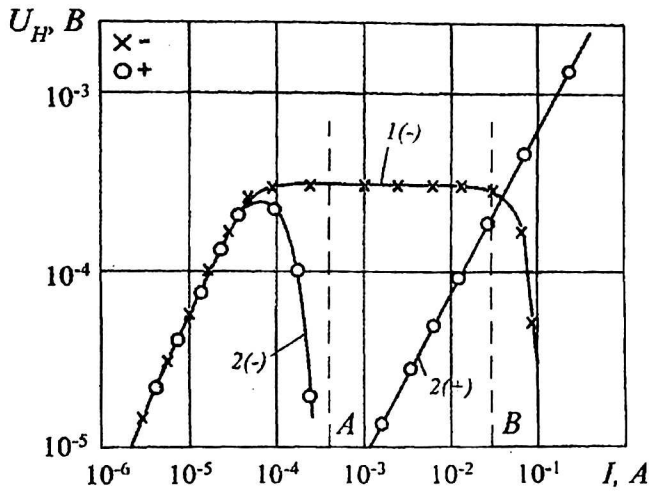


Рис. 2. Зависимость ЭДС Холла U от тока I

Из рис. 2 видно, что в отсутствие освещения ЭДС Холла отрицательного знака (аномальная ЭДС Холла) с ростом тока сначала линейно растет, а затем испытывает стабилизацию при изменении величины тока на 2—3 порядка. Дальнейший рост тока приводит к инверсии знака ЭДС на положительный. В результате освещения вместо участка стабилизации ЭДС Холла меняет знак с отрицательного (аномального) на положительный и линейно растет с током.

Ранее [5] показано, что стабилизация величины аномальной ЭДС Холла в темноте обусловлена электрическим пробоем перехода между поверхностным инверсионным каналом и объемом p -InAs. Увеличение тока сопровождается движением фронта области пробоя от положительно к отрицательно смещенному токовому электроду. Достижение фронтом области пробоя холловских зондов приводит к токовой инверсии знака ЭДС Холла за счет преобладания в измеряемой ЭДС объемной составляющей, источник которой имеет в условиях пробоя низкое внутреннее сопротивление. Уменьшения внутреннего сопротивления объемной составляющей ЭДС Холла за счет фотоионизации в области поверхностного барьера также достаточно для переключения измеряемой ЭДС Холла с поверхностной составляющей на объемную [6]: В результате при освещении контактов линейный участок токовой зависимости U положительного знака расширяется снизу в область токов, соответствующих стабилизированной аномальной ЭДС Холла в темноте.

Из представленных данных следует, что при значениях электрического тока 0, 1 выходная ЭДС Холла принимает три возможных значения: 0, -1, +1. При этом переключение сигналов всех

трех информационных каналов — магнитного, оптического и электрического — с одного логического уровня на другой вызывает переключение выходного сигнала ЭДС Холла только в пределах трех указанных логических уровней.

Отмеченное свойство ЭДС Холла позволяет использовать его для преобразования цифровых информационных сигналов магнитного, оптического и электрического каналов в цифровые сигналы выходного напряжения датчика.

Рис. 3 иллюстрирует временные диаграммы выходного напряжения датчика U в зависимости от значений входных величин B, J, I , а в табл. 2 приведено соответствие логических уровней входных и выходных сигналов.

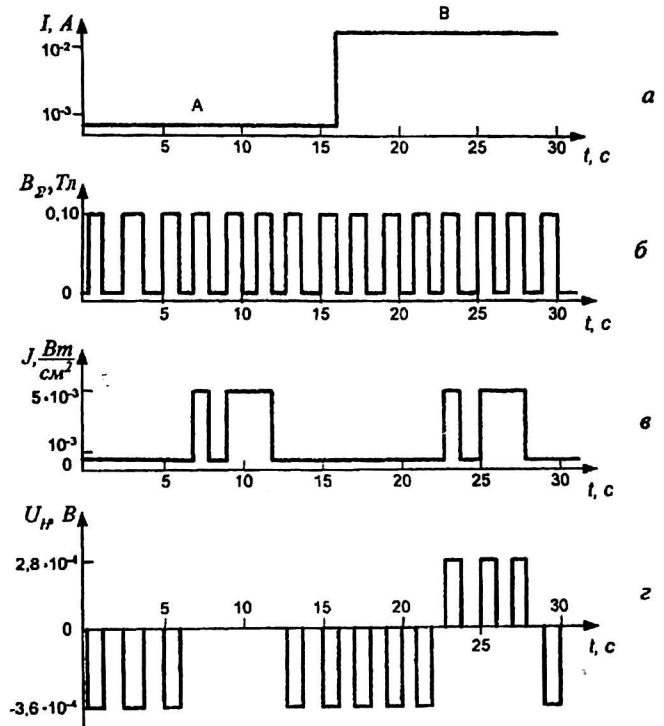


Рис. 3. Временные диаграммы входных и выходных сигналов преобразователя

Таблица 2

Соответствие логических уровней входных и выходных сигналов

Логические уровни входных сигналов B, J, I			Логические уровни выходной ЭДС Холла
Канал B	Канал J	Канал I	Выход U
1	1	1	+1
1	1	0	0
1	0	0	-1
1	0	1	-1
0	0	0	0
0	1	1	0
0	0	1	0
0	1	0	0

Видно, что выходному сигналу +1 соответствует единственный код входного сигнала 111, тогда как выходным сигналам -1 и 0 удовлетво-

ряют, соответственно, два и пять возможных сочетаний уровней входных сигналов. Для обеспечения возможности однозначного установления $2^3 = 8$ сочетаний логических уровней трех входных сигналов по значениям трех (-1, 0, +1) логических уровней выходного напряжения необходим анализ возможности использования для этого дополнительных управляющих сигналов V^*, J^*, I^* .

Как следует из характеристик аномального эффекта Холла, представленных на рис. 2 и 3, выбранные в качестве управляющих сигналы V^*, J^*, I^* при неизменных значениях входных величин V, J, I позволяют осуществлять переключение логического уровня выходного сигнала и могут обеспечить получение достаточного объема выходной информации, необходимого для идентификации всех сочетаний состояний трех входных сигналов.

На основе экспериментальных характеристик, представленных на рис. 2 и 3, получен алгоритм работы преобразователя (включающей условия и последовательность подачи управляющих сигналов) и обработки измерительной информации (включающей условия и последовательность анализа логического уровня выходного сигнала), блок-схема которого показана на рис. 4.

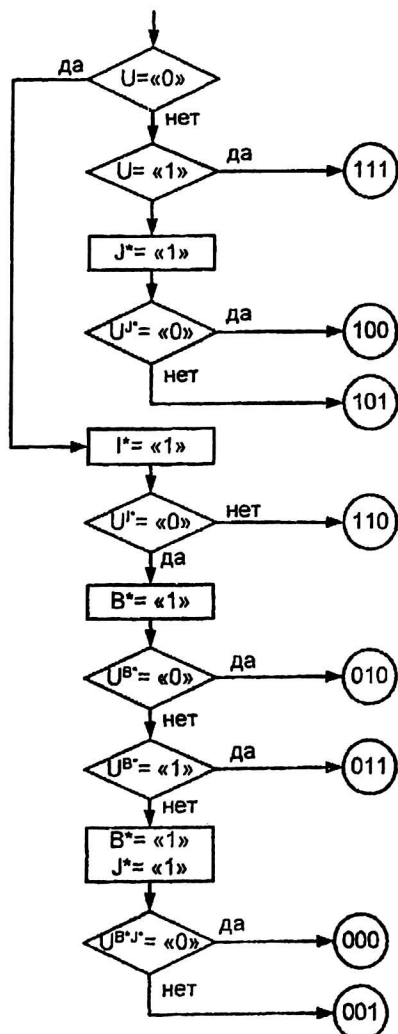


Рис. 4. Схема алгоритма работы преобразователя

На рис. 4 обозначениям $UV^*, UJ^*, UI^*, UV^*J^*$ соответствуют значения ЭДС Холла в условиях, когда одновременно с сигналами информационных каналов V, J, I на датчик воздействуют управляющие сигналы V^*, J^*, I^* . При этом значения UV^*, UJ^*, UI^* относятся к воздействиям отдельных управляющих сигналов V^*, J^*, I^* , соответственно, а значение UV^*J^* соответствует одновременному воздействию двух управляющих сигналов V^* и J^* .

Из рассмотрения приведенного алгоритма следует, что множества логических уровней ЭДС Холла при установленном порядке воздействий управляющих сигналов в условиях неизменности входной информации достаточно для идентификации любых сочетаний логических уровней входных магнитного, оптического и электрического каналов.

Таким образом, возможно одновременное считывание магнитной, оптической и электрической цифровой двоичной информации с использованием датчика, работающего на принципе аномального эффекта Холла в полупроводнике с инверсионными каналами на поверхности.

Следует отметить, что рассмотренные на примере p -InAs закономерности аномального эффекта Холла наблюдаются и в других полупроводниках [3]. Использование ряда конструктивных и технологических приемов позволит распространить этот эффект на еще больший круг материалов, обеспечить управление характеристиками преобразователя с помощью полевой модуляции свойств поверхностного инверсионного канала и тем самым еще более расширить функциональные и эксплуатационные возможности предлагаемых устройств.

Выводы

1. Показано, что эффекты стабилизации, токового и оптического переключения аномальной ЭДС Холла в полупроводнике с инверсионными каналами на поверхности могут служить принципом действия многоканального интегрированного датчика считывания цифровой магнитной, оптической и электрической информации.

2. Предложен метод одновременного считывания цифровой магнитной, оптической и электрической цифровой информации многоканальным датчиком, заключающийся в преобразовании значений индукции магнитного поля, плотности мощности оптического излучения и силы электрического тока в значение аномальной ЭДС Холла и ее анализе согласно приведенному алгоритму.

3. Параметры входных, выходных сигналов, условия эксплуатации и функциональные возможности датчика могут варьироваться за счет выбора полупроводникового материала, конструктивных параметров и введения дополнительных управляющих элементов.

Л и т е р а т у р а

1. Гроднев И. И. Оптоэлектронные системы передачи информации. — М.: Знание, 1991.
2. Зюко А. Г., Кловский Д. Д., Коржик В. И. Теория электрической связи. — М.: Радио и связь, 1998.
3. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. — М.: Радио и связь, 1990.

4. Гусев О. К., Киреенко В. П., Ломтев А. А., Яржембицкий В. Б.// ФТП. 1983. Т. 17. Вып. 6. С. 1153—1155.
5. Андерсен Г. Ю., Гусев О. К., Заитов Ф. А., Киреенко В. П., Яржембицкий В. Б.// Там же. 1991. Т. 25. Вып. 11. С. 1999—2002.
6. Гусев О. К., Киреенко В. П., Яржембицкий В. Б.// Там же. 1992. Т. 26. Вып. 6. С. 1138—1139.

Application of anomalous Hall effect for reading of magnetic, optical and electrical information

O. K. Gusev

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

The principle and the method for simultaneous reading of magnetic, optical and electrical digital information by integrated sensor are proposed, based on transformation of corresponding input signals into anomalous Hall electromotive force and analysis of its meanings in accordance with given algorithm.