

Д. ф.-м. н. Ф. Д. КАСИМОВ, к. ф.-м. н. Я. Ю. ГУСЕЙНОВ

Азербайджан, г. Баку, Азербайджанское национальное аэрокосмическое агентство, Бакинский гос. университет

Дата поступления в редакцию
06.07 2000 г.

Оппонент д. ф.-м. н. З. А. ИСКЕНДЕР-ЗАДЕ

КРЕМНИЕВЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ГАЛЬВАНОМАГНИТОРЕКОМБИНАЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Эпитаксиально-планарная технология позволяет создать ГМР-элемент в едином интегральном исполнении со схемой обработки сигналов.

Развитие микроэлектронной технологии позволило разработать ряд гальваномагнитных элементов в интегральном исполнении на основе кремниевой эпитаксиально-планарной технологии, например, датчики Холла, магниторезисторы, магнитодиоды, магнитотранзисторы и т. д.

Гальваномагнитные датчики на основе эффекта Холла, несмотря на все их преимущества, имеют существенный недостаток — температурный и временной дрейфы, обусловленные тем, что они являются 4-полюсниками. С этой точки зрения гальваномагниторекомбинационный элемент является более стабильным, поскольку представляет собой 2-полюсник.

Как известно, гальваномагниторекомбинационный (ГМР) эффект заключается в изменении сопротивления полупроводникового материала в магнитном поле из-за различной скорости поверхностной рекомбинации носителей заряда на противоположных боковых гранях элемента [1].

Классическая теория ГМР-эффекта развита для полупроводниковой пластины с постоянными геометрическими размерами, а следовательно, и постоянным сопротивлением образца, чувствительность которого прямо пропорциональна его длине.

Наибольшей чувствительностью (50 мВ/мТ), по сравнению с другими полупроводниковыми материалами, обладают германиевые преобразователи ГМР-4 на дискретных пластинах с габаритными размерами 5×1×0,5 мм [2, с. 68]. Достаточно высокой чувствительностью обладают также ГМР-элементы на основе эпитаксиальных пленок $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ на полупроводящих подложках GaAs [3].

Расчет ширины переходного слоя между подложкой и пленкой в зависимости от концентрации глубоких ловушек [4] позволяет подбирать толщину пленки ГМР-элемента, необходимую для достижения условия максимальной чувствительности.

Параметр α_B , от которого зависит чувствительность ГМР-элемента, определяется выражением [1, с. 87]

$$\alpha_B = \frac{q\mu_n(1 + \mu_p/\mu_n)^2 n_0 p_0 L_D}{(n_0 + p_0)(n_0 + p_0 \mu_p/\mu_n) kT} \frac{ch \frac{d}{L_D} - 1}{\frac{d}{L_D} ch \frac{d}{L_D}}, \quad (1)$$

где q — заряд электрона;
 μ_n и μ_p — подвижности электронов и дырок;
 n_0 и p_0 — равновесные концентрации электронов и дырок;

L_D — длина свободного пробега носителей;

d — ширина образца;

k — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура.

Величина α_B при заданных значениях μ , L_D и T достигает максимума при условии собственной проводимости $n_0 = p_0$ и при ширине образца d , равной $1,4L_D$.

$$\alpha_{B_{\max}} = 0,2 \frac{q\mu_n(1 + \mu_p/\mu_n)L_D}{kT}. \quad (2)$$

Номограммы, приведенные в [4], позволяют (при определенных концентрациях носителей в пленке и глубоких ловушек на границах раздела «пленка — подложка») выбирать нужную толщину пленки, при которой обедненный слой занимает всю толщину пленки и достигается условие $n_0 = p_0$. Однако и германиевые образцы, и структуры на GaAs не согласовываются конструктивно-технологически с кремниевыми интегральными схемами преобразования и усиления сигналов. Вместе с тем ГМР-элемент на кремнии, несмотря на меньшую чувствительность, можно объединять со схемой преобразования в едином интегральном исполнении и тем самым повысить их надежность и качество.

Для изготовления кремниевых интегральных ГМР-элементов использовалась технология одновременного выращивания локальных моно- и поликристаллических пленок кремния в едином процессе эпитаксиального наращивания [5]. Топология такого элемента приведена на **рис. 1**. Как было показано экспериментально в [6], чувствительность ГМР-элемента при комнатной температуре на несколько порядков выше расчетной величины для данной концентрации носителей и нелинейно зависит от длины образца.

Исследовался ГМР-элемент на основе кремниевой эпитаксиальной пленки n -типа проводимости ($n \gg p$). Его боковой гранью с повышенной скорос-

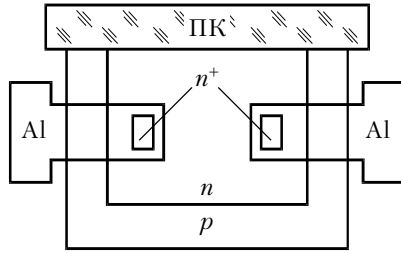


Рис. 1. Топология интегрального ГМР-элемента

тью рекомбинации является пленка поликристаллического кремния, выращенная в процессе эпитаксиального наращивания [5]. Гранью с низкой скоростью поверхностной рекомбинации является *p-n*-переход.

Нами проведен расчет чувствительности такого ГМР-элемента с учетом изменяющейся под действием обратного смещения ширины образца. Конструкция образца изображена на **рис. 2**. Здесь показана толщина обедненного слоя h_ϕ , обусловленного контактной разностью потенциалов ϕ . Линией *AB* изображена переменная вдоль оси *y* толщина обедненного слоя, возникающего в результате приложения обратного смещения с учетом омического падения напряжения при протекании тока вдоль образца. При определенном напряжении на образце обедненный слой полностью перекрывает канал у стокового электрода, из объема полупроводника удаляются все свободные носители и возникает собственная проводимость. При этом возникают условия для максимальной чувствительности ГМР-элемента, т. е. $n_0 = p_0$.

Для построения количественной теории ГМР-эффекта и расчета чувствительности интегрального элемента в эпитаксиальных структурах с боковой гранью в виде *p-n*-перехода решалось уравнение Пуассона для толщины элемента как функции длины:

$$\nabla^2 U = \rho \epsilon, \quad (3)$$

- где ∇ — оператор Гамильтона;
- U — приложенное напряжение смещения;
- ρ — плотность заряда;
- ϵ — электрическая постоянная.

При фиксированном напряжении смещения получена зависимость между толщиной обедненного слоя *y* и продольной координатой *L-x*:

$$\frac{L-x}{L} = I_0 \left(1 - 3 \frac{y^2}{d^2} + 2 \frac{y^3}{d^3} \right), \quad (4)$$

- где L — длина образца;
- d — ширина;
- I_0 — коэффициент, определяющийся только физическими и геометрическими параметрами полупроводника, равный

$$I_0 = \frac{q^2 n^2 \mu t d^3}{6 \epsilon L}; \quad (5)$$

t — толщина образца.

Измерения проводились при токе $I_0 = 0,15$ мА, а напряжение смещения менялось от 4,5 В на самом

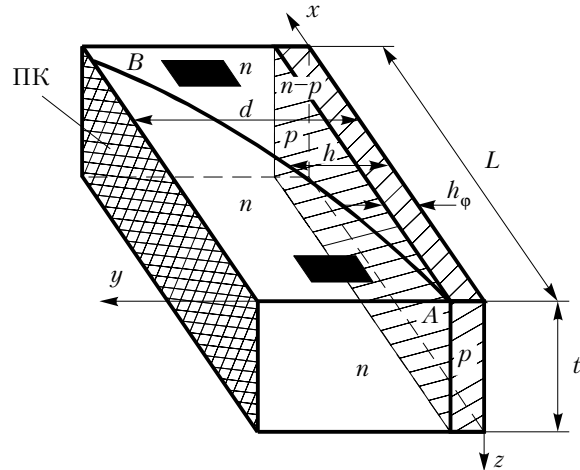


Рис. 2. Конструкция ГМР-элемента

коротком образце с длиной $L_1 = 100$ мкм до 36 В на $L_4 = 800$ мкм. Результаты вычисления эффективной рабочей длины образца ($L_{эфф} = L - x$), вносящей вклад в ГМР-эффект, в зависимости от степени перекрытия образца обедненным слоем по ширине h/d приведены в **таблице**.

h/d	L , мкм			
	100- λ	200- λ	400- λ	800- λ
	$L_{эфф}$, мкм			
0,9	23	23	23	23
0,8	85	85	85	85
0,7	100	174	174	174
0,6	—	280	280	280
0,5	—	—	400	400
0,4	—	—	—	520

Из таблицы видно, что протяженность областей с одинаковой степенью перекрытия канала h/d во всех образцах постоянны, т. к. определяются напряженностью электрического поля или, что то же самое, током насыщения I_0 , который в эксперименте поддерживается постоянным. Поскольку чувствительность ГМР-элемента максимальна при условии $n_0 = p_0$, которое достигается при полном обеднении канала носителями, то наибольший вклад в чувствительность каждого образца вносит участок с длиной 23 мкм со степенью перекрытия 0,9. Последующие участки с меньшими степенями перекрытия вносят в чувствительность малые добавки, пропорциональные своей длине. Так, чувствительность второго образца, который вдвое длиннее первого, больше в 1,74 раза, чувствительность третьего образца в 1,4 раза больше, чем у второго, а чувствительность четвертого всего в 1,3 раза больше, чем у третьего.

Следует учитывать, что с уменьшением степени перекрытия чувствительность падает также из-за уменьшения эффективной ширины образца, на которой соблюдается условие равенства концентраций $n_0 = p_0$.

Экспериментальные наблюдения подтвердили (**рис. 3**), что чувствительность образцов, несмотря на удвоение их геометрической длины, имеет явную тенденцию к насыщению.

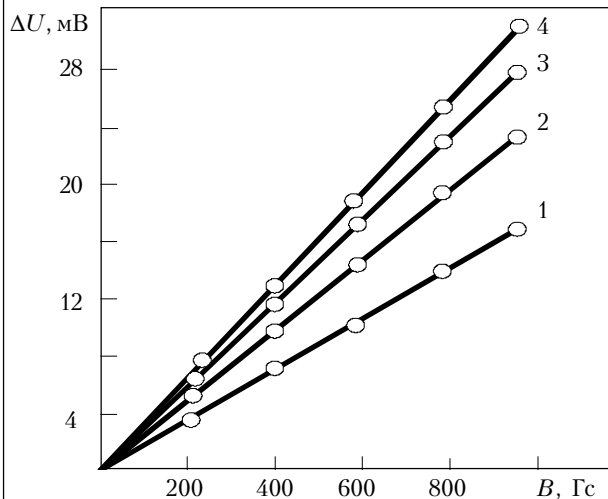


Рис. 3. Передаточные характеристики ГМР-элемента различной длины:
1 – 100 мкм; 2 – 200; 3 – 400; 4 – 800 мкм

Таким образом, теоретически и экспериментально показано, что наблюдаемая тенденция к насыщению зависимости чувствительности элемента от его длины обусловлена нелинейным расширением области обедненного слоя с ростом геометрической длины образца.

Это означает, что эпитаксиально-планарная технология одновременного выращивания локальных моно- и поликристаллических пленок позволяет создать ГМР-элемент в едином интегральном исполнении со схемой обработки сигналов, аналогично магниточувствительной ИС на основе эффекта Холла [7].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Левитас И., Пожела Ю., Сталерайтис К. Преобразователи магнитных величин на основе гальваномагниторекомбинационного эффекта // В кн.: Полупроводниковые преобразователи. — Вильнюс: Мокслас, 1980. — С. 73—139.
2. Хомерики О. К. Полупроводниковые преобразователи магнитного поля. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Kasimov F. D., Huseinov Ya. Yu. Integral galvanomagnetic recombination element based on heteroepitaxial vismuth-containing InSb films // Functional Materials (Kharkiv, Institute for single crystal NAS Ukraine). — 1999. — Vol. 6, N 5. — P. 934—938.
4. Гусейнов Я. Ю., Касимов Ф. Д., Кемерчев Г. П. Влияние потенциального барьера на границе раздела полуизолирующей арсенидгаллиевой подложки с эпитаксиальной пленкой на токоперенос в ней // Физика (АН Азербайджана). — 1999. — Т. 5, № 3. — С. 20—23.
5. Abdullajev A. G., Kasimov F. D., Mamikonova V. M. The simultaneous growth of mono- and polycrystalline silicon films // Thin Solid Films. — 1984. — Vol. 115, N 3. — P. 237—243.
6. Абдуллаев А. Г., Касимов Ф. Д., Мамиконова В. М. Интегральный магниторекомбинационный преобразователь на основе локальных пленок моно- и поликристаллического кремния // Электронная техника. Сер. Микроэлектроника. — 1988. — Вып. 3. — С. 71—72.
7. Kasimov F. D., Ismailov N. M., Kasimova F. F. High magnetic sensitivity integrated circuit on the base of Hall-effect sensor // Functional Materials (Kharkiv, Institute for single crystal NAS Ukraine). — 1998. — Vol. 5, N 1. — P. 138—139.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции

- Техническая политика в области навигации и управления движением. *В. Г. Падалко, Ю. Е. Николаенко, А. А. Кошевой, Г. А. Баранов (Украина, г. Киев)*
- Глобальная минимизация количества межслойных переходов. *О. Б. Полубасов (Россия, С.-Петербург)*
- Особенности тестирования канала изображения спутниковой цифровой сети распределения программ телевидения. *С. А. Безруков, И. В. Горбач, С. А. Горьев, Г. С. Горьев, С. А. Попов, В. П. Пятков (Украина, гг. Киев, Одесса)*
- Моделирование и выбор систем теплового регулирования лазерных модулей. *Ю. Е. Николаенко, С. К. Жук, В. М. Батуркин, Д. Н. Олефиренко (Украина, г. Киев)*
- Влияние обработки поверхности и нагрева на параметры выпрямляющих контактов к SiC. *О. А. Агеев, А. М. Светличный, Н. А. Ковалев, Р. Н. Разгонов (Россия, г. Таганрог)*



- Оптоэлектронный люминесцентный газоанализатор. *Е. Б. Плавинский, Н. Б. Копытчук (Украина, г. Одесса)*
- Варикап на основе сверхрезкого p-n-перехода. *А. Н. Головяшкин, В. А. Соловьев (Россия, г. Пенза)*

в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции