

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА

Ф.Д. КАСИМОВ, Н.М. ИСМАЙЛОВ

Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство  
370106, Баку, пр. Азадлыг, 159

Описаны причины возникновения временного и температурного дрейфов кремниевых датчиков Холла, изготовленных по эпитаксиально-планарной технологии. Предложены методы повышения стабильности параметров датчиков Холла, заключающиеся в устранении влияния упругих механических напряжений и подвижных зарядов ионов щелочных металлов на границе раздела Si-SiO<sub>2</sub>.

Датчики Холла (ДХ) с успехом применяются в различных областях электротехники, приборостроения, автоматики и вычислительной техники для измерения магнитных полей, напряжения и силы тока, в бесконтактных панельных переключателях и т.д. [1].

Для получения приемлемого выходного сигнала требуются ДХ с высокой чувствительностью, которая, как известно [2], зависит от подвижности свободных носителей  $\mu$  в полупроводнике

$$U_x = \frac{\mu BE}{d} \quad (1)$$

где  $B$  - магнитная индукция,  $E$  - напряженность электрического поля,  $d$  - толщина образца.

Поэтому с начала промышленного изготовления и по настоящее время основным материалом для ДХ являются полупроводники с высокими значениями подвижности носителей, такие как GaAs, InSb, InAs.

Однако, более широкое применение ДХ ограничивается либо высокой ценой полупроводника, либо узким температурным диапазоном (InSb).

Ввиду этого в последние годы ведутся интенсивные разработки в области исследования и изготовления ДХ на основе кремния, применение которого раньше сдерживалось явными низкими уровнями выходного сигнала и больших температурных и временных дрейфов [3].

Например, типичный кремниевый ДХ имеет чувствительность порядка 30 мВ/кГс, что на два порядка ниже, чем у ДХ на основе GaAs.

Как видно из формулы (1), чувствительность ДХ можно повысить также путем уменьшения толщины образца. Попытки добиться повышения чувствительности ДХ уменьшением толщины пластины предпринимались давно [4], но ожидаемого выигрыша не давали.

Причиной этого является резкое уменьшение значений  $\mu$  в тонких пленках по сравнению с массивными образцами, вследствие дополнительного рассеяния носителей на поверхностных центрах.

С появлением технологии эпитаксиального наращивания тонких пленок многие трудности отпали. Применение кремниевой эпитаксиально-планарной технологии позволяет уменьшить толщину пленки до 5-10 мкм, что приводит к значительному повышению чувствительности ДХ. Кроме того, она позволяет расположить на едином кристалле с ДХ схемы усиления и температурной стаби-

лизации, устраняя тем самым проблемы длинных выводов и шумов, характерных для дискретного ДХ.

Интегральные ДХ изготавливались в эпитаксиальной структуре 13 КЭФ-5/450КДБ-10 с изоляцией обратнорасположенным р-п переходом согласно технологии, описанной в [5].

Измерения параметров ДХ выявили большие разбросы и временные дрейфы остаточного напряжения  $U_0$  (напряжение между холловскими контактами в отсутствие магнитного поля), которые уменьшались после электротермообработок.

ДХ во многих отношениях напоминает МОП-транзистор и ему свойственны все их проблемы, связанные с поверхностными загрязнениями. Временной дрейф  $U_0$  в холловских приборах по своей природе аналогичен с дрейфом порогового напряжения в МОП-приборах: в том и в другом случаях он происходит вследствие попадания ионов щелочных металлов в окисел на границе раздела Si-SiO<sub>2</sub>. Главной причиной возникновения временного дрейфа является движение ионов щелочных металлов в участки с пониженным электрическим потенциалом. Повышение уровня чистоты в производственных помещениях, как это делается при изготовлении МОП-структур, приносит свои результаты, однако дрейф характеристики все равно остается.

Дальнейшее уменьшение дрейфа достигалось изменением топологии металлизации - нами были сформированы расширенные холловские электроды, экранирующие всю поверхность ДХ. Тем самым создавался одинаковый электрический потенциал над всей рабочей областью ДХ с целью предотвратить локальное скопление ионов щелочных металлов [6].

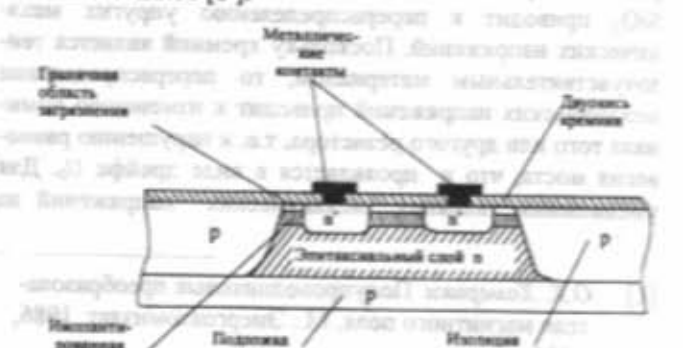


Рис. 1. ДХ с изолированной от окисла рабочей областью

С целью еще большей стабилизации временных и температурных дрейфов рабочая область ДХ изолировалась от границы раздела кремния с оксидом. С помощью ионного имплантирования у поверхности кремния создавался тонкий слой р-типа, изолирующий слой оксида от активной области прибора (рис. 1).

При изготовлении магниточувствительных схем данная операция не приводит к усложнению технологического маршрута, так как проводится в процессе формирования ионно-легированных резисторов. Благодаря этому способу, удалось снизить дрейф остаточного напряжения  $U_0$  примерно на 15 мВ [6].

Другой важной причиной, приводящей к дрейфу характеристик ДХ, является наличие механических напряжений в эпитаксиальных структурах, которые возникают вследствие различия коэффициентов теплового расширения и упругих постоянных подложки, пленки и двуокиси кремния [7].

В [8] нами была получена формула для величины упругих механических напряжений в двуслойной эпитаксиальной структуре:

$$\sigma = \frac{E_2}{1-\nu_2} (\alpha_1 - \alpha_2) \left( \frac{6E_1 h_2}{E_2 h_1} + 1 \right) \Delta T \quad (2)$$

где  $E_i$ ,  $\nu_i$ ,  $\alpha_i$  и  $h_i$  ( $i=1, 2$ ) - модуль Юнга, коэффициент Пуассона, коэффициент термического расширения и толщина соответствующих слоев. Из приведенного выражения видно, что величина механических напряжений пропорциональна толщине эпитаксиальной пленки  $h_2$  и температуре ее осаждения  $\Delta T$ .

Следовательно, уменьшение толщины пленки, помимо повышения чувствительности, приводит также к уменьшению упругих механических напряжений. Формирование ионно-имплантированного слоя противоположного типа проводимости у границы раздела Si-SiO<sub>2</sub> уменьшает толщину рабочей области ДХ, при этом конструкция прибора является подобием полевого транзистора. Тем самым дрейф выходных параметров ДХ уменьшался еще на 5 мВ.

ДХ можно представить в виде моста из четырех резисторов: по два между холловскими и токовыми электродами. При протекании через образец даже сравнительно небольших токов (~1мА) происходит его разогрев, который из-за различия термических коэффициентов Si и SiO<sub>2</sub> приводит к перераспределению упругих механических напряжений. Поскольку кремний является тензочувствительным материалом, то перераспределение механических напряжений приводит к изменению номинала того или другого резистора, т.е. к нарушению равновесия моста, что и проявляется в виде дрейфа  $U_0$ . Для уменьшения влияния механических напряжений на

дрейф  $U_0$  нами предложена ортогональная конструкция ДХ (рис. 2).

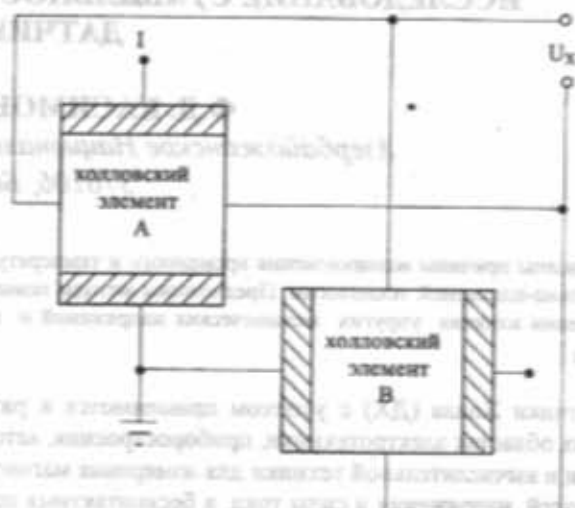


Рис. 2. Ортогональное соединение двух ДХ

Перекрестно включенные области А и В не только усредняют влияние механических напряжений, но и компенсируют ошибки фотолитографии. Такое усреднение уменьшает разброс параметров, связанные с механическими напряжениями, возникающими в процессе операции сборки и термокомпрессии.

Ниже в таблице приводятся результаты исследования воздействия описанных технических усовершенствований на общую величину дрейфа  $U_0$ .

Номер образца	Остаточное напряжение $U_0$ стандартных ДХ, мВ	Изменение $U_0$ стандартных ДХ после ЭТО, мВ	Изменение $U_0$ усовершенствованных ДХ после ЭТО, мВ
1	68	46	4
2	75	48	1
3	60	22	3
4	87	38	0
5	83	34	0
6	68	45	4
7	95	42	5
8	97	32	3
9	105	48	6
10	112	61	5

Достигнутая стабильность и чувствительность ДХ позволяют применять их в качестве бесконтактных датчиков в условиях высокой загрязненности, например, в автомобильной электронной аппаратуре, работающей в подкапотном пространстве. Благодаря нечувствительности к загрязнениям новые приборы могут заменить также оптоэлектронные детекторы, нуждающиеся в периодической очистке.

- [1] О.К. Хамерики. Полупроводниковые преобразователи магнитного поля, М.: Энергоатомиздат, 1986, с.136.  
 [2] Е.В. Кучис. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования, М.: Радио и связь, 1990, с. 264.  
 [3] М. Опенгеймер. Электроника, 1971, № 16, с.20-24.

- [4] М.М. Мирзабаев, К.Д.Потаенко, В.И.Тихонов и др. Эпитаксиальные датчики Холла и их применение, Ташкент: ФАН, 1986, с. 215.  
 [5] Н.М. Исмаилов. Препринт № 150 АНАКА, Баку, 1997, с. 15.  
 [6] Ф.Д. Касимов, Н.М. Исмаилов. Тезисы докладов

