

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И. К. Камиров, Ш. М. Алиев, М. Ш. Алиев

Институт физики Дагестанского научного центра РАН, Махачкала

Получена 2 июля 2008 г.

*Предложен чувствительный датчик магнитного поля на механоэлектрическом эффекте в полупроводниках.*

Изменение вольт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводниковых приборов под действием механического давления, известное в литературе как механоэлектрический эффект, используется для создания различных датчиков давления, микрофонов, звукозаписывающих устройств, акселерометров [1,2]. В качестве тензочувствительного элемента в механоэлектрических преобразователях используется р-n-переход, диод с барьером Шоттки, туннельный диод, а давление обычно создается одноосно [1,2].

В данной работе показано, что на механоэлектрическом эффекте можно создать чувствительный датчик магнитного поля. Рассмотрим магнитный диполь с центральной осью вращения, на полюсах которого закреплены боковые иглы, которые могут оказать механическое давление на неподвижные тензочувствительные полупроводниковые элементы (рис.1,а).

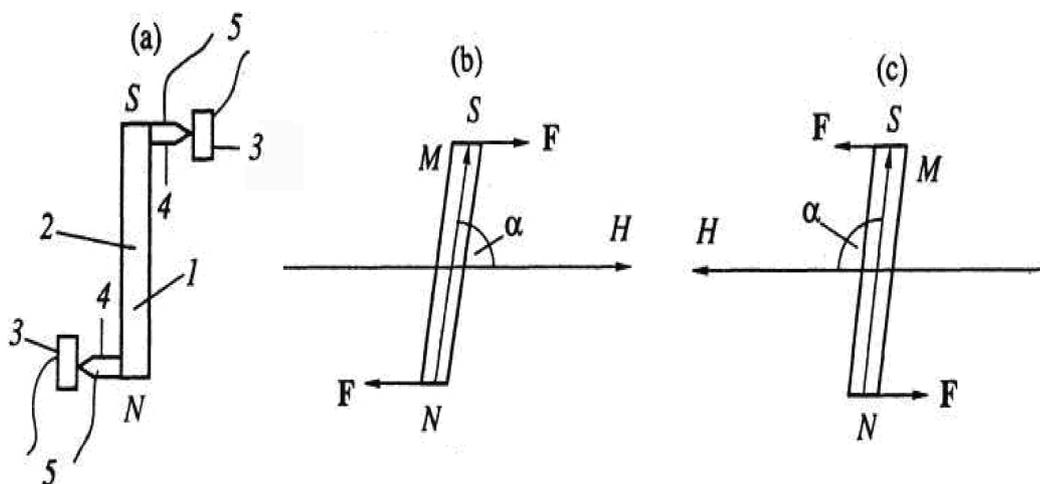


Рис.1. а- схематическая конструкция датчика магнитного поля на механоэлектрическом эффекте: 1 - магнитный диполь; 2 - ось вращения диполя; 3 - неподвижные тензочувствительные полупроводниковые элементы; 4 - иглы; 5 - электрические выводы; б, в, с - пара сил, действующих на магнитный диполь при взаимно противоположных направлениях магнитного поля.

Если внести такой диполь в магнитное поле  $H$ , то на него будет действовать вращающий момент пары сил [3]:

$$L = M \cdot H \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $M$  - магнитный момент диполя,  $\alpha$  - угол между направлением  $H$  и направлением  $M$ . Момент сил всегда стремится повернуть диполь в направлении поля, поэтому от взаимной ориентации векторов  $M$  и  $H$  будет зависеть направление пары сил, действующих на диполь (рис.1,б,в). Заметим, что  $L = F \cdot l$  и  $M = m \cdot l$ , где  $F$  - сила, действующая на плечо диполя,  $l$  - расстояние между полюсами диполя,  $m$  - магнитный заряд<sup>1</sup> полюса. С учетом этого для давления, оказываемого иглой на полупроводниковый элемент, получим

$$P = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot H \cdot \sin \alpha}{S}, \quad (2)$$

где  $S$  - площадь соприкосновения иглы с полупроводниковым элементом.

В изготовленном нами датчике использовался магнитный диполь длиной 15 mm и сечением 1.5×1.5mm, вырезанный из самарий-кобальтового магнита марки КС 37. Диполь, к полюсам которого прикреплены покрытые индием вольфрамовые иглы, устанавливался на часовом маятниковом механизме из немагнитного материала. Диаметр острия игл составлял 60 μm. В качестве полупроводникового материала использовались пластины германия размером 2×2 mm и удельным сопротивлением 40 Ω·см. На одну сторону пластин наносились омические контакты из сплава Pb-Sb. Соприкосновение острия

---

<sup>1</sup> Понятие магнитный заряд обычно вводится для удобства, по аналогии с электрическим зарядом. Магнитный заряд имеет размерность магнитного потока - Wb.

иглы с полупроводниковым кристаллом и соответствующие ВАХ точечных диодов наблюдались на экране осциллографа. Для улучшения выпрямительных свойств и создания механически прочного контакта металл-полупроводник, диод подвергался электроформовке, заключающейся в пропускании через него нескольких импульсов тока амплитудой 1А и длительностью 10 ms. Готовый датчик помещался в корпус из оргстекла для защиты от пыли и влаги электрических контактов и подвижных частей датчика. На рис. 2 приведены ВАХ датчика, помещенного в центр длинного соленоида. Напряженность магнитного поля и ее направление регулировались подбором величины тока, пропускаемого через соленоид, и изменением его направления. Угол  $\alpha$  подбирался равным  $90^\circ$ . Видно, что изменение поля в несколько эрстед приводит к заметному изменению ВАХ диодов, причем изменение направления поля на противоположное перемещает ВАХ в противоположную сторону относительно ВАХ при  $H = 0$ . Это объясняется изменением направления пары сил, действующих на диполь с изменением направления поля (рис.1,b,c). По аналогии с магнитодиодом [4] чувствительность датчика можно оценить из

$$\text{выражения } \mathcal{Y} = \frac{\Delta V}{I \cdot H} \quad (3)$$

где  $\Delta V = V_H - V_0$  — изменение напряжения на диоде при помещении датчика в магнитное поле,  $I$  - ток, проходящий через диод.

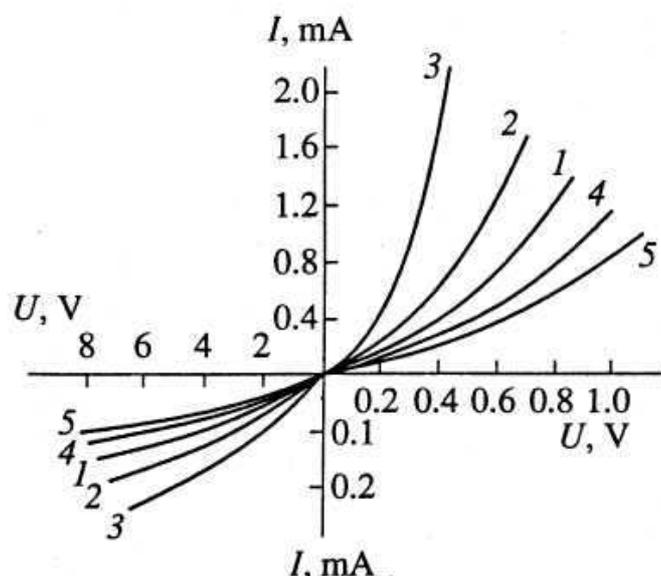


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики диодов датчика в магнитном поле: 1 -  $H=0$ ; 2 -  $H=5 \text{ Oe}$ ; 3 -  $H=20 \text{ Oe}$ ; 4 -  $H=-5 \text{ Oe}$ ; 5 -  $H=-20 \text{ Oe}$ .

В поле  $H=5 \text{ Oe}$  для прямой ветви ВАХ ( $I=0.4 \text{ mA}$ )  $\gamma = 50 \text{ V/AOe}$ , для обратной ветви ( $I=0.1 \text{ mA}$ ) -  $\gamma = 3.0 \cdot 10^3 \text{ V/AOe}$ , т.е. обратная ветвь более чувствительна к магнитному полю, чем прямая. Из приведенных ВАХ также следует, что  $\gamma$  зависит от величины измеряемого поля, — датчик более чувствителен к слабым полям. Чувствительность датчика можно регулировать в ту или другую сторону, варьируя параметрами  $S$  и  $m$ , входящими в формулу (2). Однако необходимо иметь в виду, что верхний предел измеряемых полей ограничивается коэрцитивной силой магнитного диполя, которая должна быть значительно выше, чем величина измеряемых полей. Поэтому в датчике предпочтительно использовать диполь из высококоэрцитивного магнита.

### Литература

1. Полякова А. Л. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов.- М.: Энергия, 1979
2. Кривонос И. И. Полупроводниковые электроакустические преобразователи в радиосхемах.- М.: Энергия, 1977.
3. Тикадзуки С. Физика ферромагнетизма -М.: Мир, 1983.
4. Викулин И. М., Стафеев В. И. Полупроводниковые датчики. -М.: Сов. радио, 1975.