

05;12

Датчик магнитного поля на механоэлектрическом эффекте в полупроводниках

© Ш.М. Алиев, И.К. Камиллов, А.К. Атаев,
К.М. Алиев, А.Х. Абдуев

Институт физики им. Х.И. Амирханова
Дагестанского научного центра РАН, Махачкала
E-mail: kamilov@datacom.ru

Поступило в Редакцию 13 февраля 2001 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, звукоснимателей, акселерометров [1,2]. В качестве тензочувствительного элемента в механоэлектрических преобразователях используется p - n -переход, транзистор, диод с барьером Шоттки, туннельный диод, а давление обычно создается одноосно или при помощи иглы [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, a). Если внести такой диполь в магнитное поле H , то на него будет действовать вращающий момент пары сил [3]:

$$\mathbf{L} = \mathbf{M}\mathbf{H} \sin \alpha, \quad (1)$$

где \mathbf{M} — магнитный момент диполя, α — угол между направлением \mathbf{H} и направлением \mathbf{M} . Момент сил всегда стремится повернуть диполь в направлении поля, поэтому от взаимной ориентации векторов \mathbf{M} и \mathbf{H} будет зависеть направление пары сил, действующих на диполь

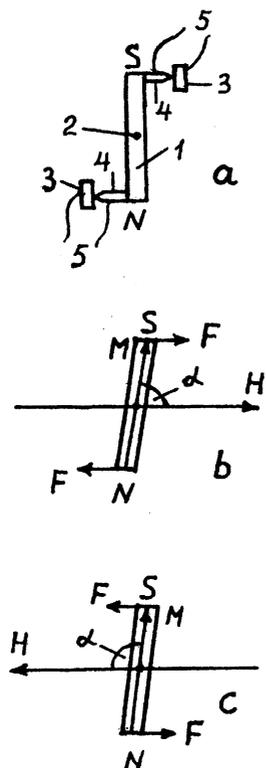


Рис. 1. *a* — схематическая конструкция датчика магнитного поля на механоэлектрическом эффекте: *1* — магнитный диполь; *2* — ось вращения диполя; *3* — неподвижные тензочувствительные полупроводниковые элементы; *4* — иглы; *5* — электрические выводы; *b, c* — пара сил, действующих на магнитный диполь при взаимно противоположных направлениях магнитного поля.

(рис. 1, *b, c*). Заметим, что $\mathbf{L} = F \cdot l$ и $\mathbf{M} = m \cdot l$, где F — сила, действующая на плечо диполя, l — расстояние между полюсами диполя, m — магнитный заряд¹ полюса. С учетом этого для давления,

¹ Понятие магнитный заряд обычно вводится для удобства, по аналогии с электрическим зарядом. Магнитный заряд имеет размерность магнитного потока [Wb].

оказываемого иглой на полупроводниковый элемент, получим

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mH \sin \alpha}{S}, \quad (2)$$

где S — площадь соприкосновения иглы с полупроводниковым элементом.

В изготовленном нами датчике использовался магнитный диполь длиной 15 mm и сечением 1.5×1.5 mm, 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. Радиус острия игл составлял $30 \mu\text{m}$. В качестве полупроводникового материала использовались пластины германия размером 2×2 mm и удельным сопротивлением $40 \Omega \cdot \text{cm}$. На одну сторону пластин наносились омические контакты из сплава Pb–Sb. Соприкосновение острия 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 1 A 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 α подбирался равным 90° . 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 выражения

$$\gamma = \frac{\Delta V}{I \cdot H}, \quad (3)$$

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

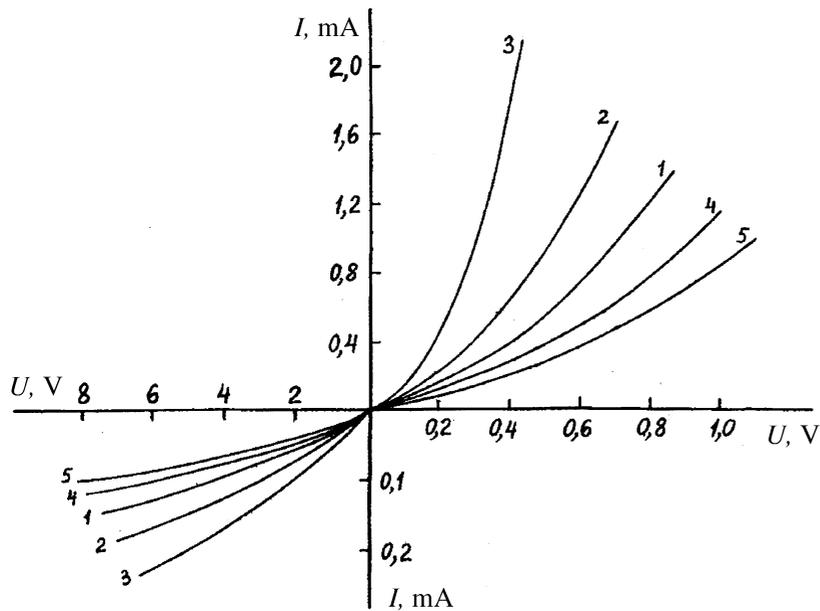


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики диодов датчика в магнитном поле: 1 — $H = 0$; 2 — $H = 5$ Oe; 3 — $H = 20$ Oe; 4 — $H = -5$ Oe; 5 — $H = -20$ Oe.

В поле $H=5$ Oe для прямой ветви ВАХ ($I=0.4$ mA) $\gamma = 50$ V/AOe, для обратной ветви ($I = 0.1$ mA) — $\gamma = 3.0 \cdot 10^3$ V/AOe, т.е. обратная ветвь более чувствительна к магнитному полю, чем прямая. Из приведенных ВАХ также следует, что γ 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.

Список литературы

- [1] *Полякова А.Л.* Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1979. 167 с.
- [2] *Кривонос И.И.* Полупроводниковые электроакустические преобразователи в радиосхемах. М.: Энергия, 1977. 87 с.
- [3] *Тикадзуки С.* Физика ферромагнетизма. М.: Мир, 1983. 302 с.
- [4] *Викулин И.М., Стафеев В.И.* Полупроводниковые датчики. М.: Сов. радио, 1975. 104 с.