

## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫХ КИСЛОРОДНЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК СУЛЬФИДА СВИНЦА

*В.И.Левченко, Л.И.Постнова, В.В.Дикарева*

Институт физики твердого тела и полупроводников АН Беларуси,  
220072, Минск, Беларусь  
(Поступило в Редакцию 17 декабря 1993 г.)

В наиболее широко применяемых в настоящее время кондуктометрических датчиках кислорода обычно используются многокомпонентные композиционные материалы на основе оксидов металлов [1-3]. Физические процессы взаимодействия их с кислородом очень сложны и вследствие этого недостаточно изучены. Поэтому разработка новых датчиков осуществляется обычно эмпирическим методом, требующим больших затрат средств и времени. При этом затруднено применение современных групповых технологий, обеспечивающих высокую воспроизводимость параметров и низкую стоимость приборов.

В настоящей работе предлагается принцип реализации датчиков кислорода на достаточно хорошо изученных физических явлениях в относительно простых и хорошо контролируемых объектах. К числу таких явлений относятся адсорбция кислорода поверхностью и диффузия его в объем монокристалла. Эти различные физические явления рассматриваются здесь совместно, потому что в случае монокристаллических пленок сульфида свинца  $n$ -типа они дают одинаковый макроскопический эффект — формирование приповерхностного инверсного слоя [4]. По наличию в пленке такого слоя и его параметрам можно определить присутствие и оценить количество кислорода.

К сожалению, простой кондуктометрический метод мало пригоден для обнаружения и оценки инверсных слоев. Электропроводность, как известно, не зависит от типа проводимости, поэтому изменение электрического сопротивления можно зафиксировать лишь в том случае, когда электропроводность инверсного слоя и объема пленки существенно различаются. Предпочтительнее измерять коэффициент Холла, знак которого определяется типом проводимости.

Известно [5,6], что в случае произвольной неоднородности пленки по толщине эффективное значение коэффициента Холла определяется выражением

$$R_H = \frac{\int_0^d R_H(z) \sigma^2(z) dz}{\left( \int_0^d \sigma(z) dz \right)^2}, \quad (1)$$

где  $R_H(z), \sigma(z)$  — функции распределения по толщине пленки коэффициента Холла и электропроводности соответственно;  $d$  — толщина пленки.

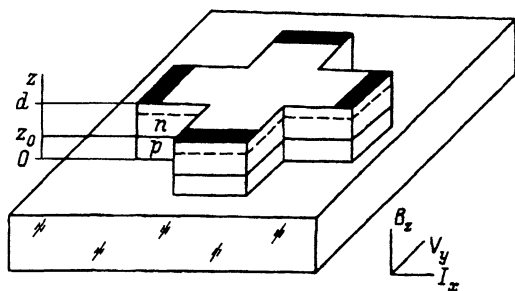


Рис. 1. Структура гальваномагнитного кислородного датчика.

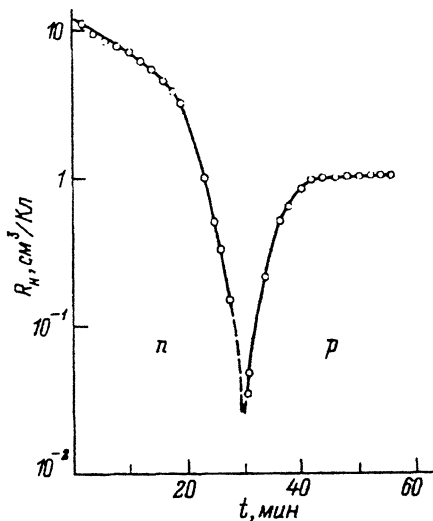


Рис. 2. Зависимость коэффициента Холла  $p$ - $n$ -структуры на основе сульфида свинца от времени экспозиции в кислороде при комнатной температуре и давлении 150 Тор.

Как видно, слои пленки различного типа проводимости дают вклад в  $R_H$  противоположного знака. Вследствие этого кислородное воздействие на пленку приводит к уменьшению коэффициента Холла по абсолютной величине. Таким образом, в качестве датчика кислорода в принципе может быть использован обычный датчик Холла из сульфида свинца  $n$ -типа. Однако такой простой вариант датчика имеет серьезный практический недостаток. Поскольку глубина инверсного слоя обычно, особенно при малых концентрациях кислорода, мала, а толщина пленки сульфида свинца по конструктивно-технологическим соображениям должна быть достаточно большой (более 1 мкм), то вызванное воздействием кислорода относительное изменение  $|R_H|$  невелико. Вследствие этого предъявляются высокие требования к точности регистрирующей аппаратуры, что приводит к увеличению ее стоимости.

Указанный недостаток может быть устранен, если в качестве чувствительного слоя датчика использовать двухслойную  $p$ - $n$ -структуру (рис. 1). В этой структуре доступный для кислорода верхний слой должен быть  $n$ -типа, а его толщина выбрана таким образом, чтобы в отсутствие кислорода коэффициент Холла равнялся нулю. Для этого необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\int_0^{z_0} R_H(z)\sigma(z)dz = \int_{z_0}^d R_H(z)\sigma(z)dz. \quad (2)$$

Под действием кислорода в приповерхностной области  $n$ -слоя образуется инверсный слой  $p$ -типа, т.е. структура становится трехслойной  $p$ - $n$ - $p$ . Из (1) очевидно, что по влиянию на коэффициент Холла это равносильно увеличению толщины  $p$ -слоя в двухслойной структу-

ре. Таким образом, в этом случае кислородное воздействие приводит к увеличению  $R_H$ .

На основе двухслойной  $p$ - $n$ -структуры можно также реализовать датчик, срабатывающий при инверсии знака коэффициента Холла. Для этого достаточно выбрать толщину  $n$ -слоя такой, чтобы в отсутствие кислорода его вклад в  $R_H$  незначительно превышал вклад  $p$ -слоя. При этом коэффициент Холла имеет отрицательный знак. Под действием кислорода  $R_H$  уменьшается по абсолютной величине до нуля, изменяет знак и начинает возрастать (рис. 2).

По описанному принципу были изготовлены экспериментальные образцы датчиков кислорода на основе сульфида свинца. Эпитаксиальный слой  $PbS$   $p$ -типа толщиной 1.7 мкм с концентрацией носителей заряда  $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и подвижностью при комнатной температуре  $420 \text{ см}^2 \cdot \text{В} \cdot \text{с}$  выращивался из молекулярных пучков на монокристаллическом фториде бария ориентации (111). Образцы классической крестообразной конфигурации формировались методом фотолитографии. В качестве омических контактов использовалась вольфрамовая пленка, напыленная методом ионно-плазменного распыления через маску из фоторезиста. Затем образцы с нанесенными контактами подвергались вакуумному отжигу при температуре  $380^\circ\text{C}$  с целью формирования поверхностного слоя  $n$ -типа. Время отжига, определяющее глубину  $n$ -слоя, выбиралось таким образом, чтобы коэффициент Холла образцов был  $1\text{--}10 \text{ см}^3/\text{Кл}$ . Изготовленные датчики имели высокую чувствительность даже при комнатной температуре (рис. 2). Как видно, путем оптимизации глубины  $n$ -слоя несложно получить время отклика менее 2 мин, что сопоставимо с параметрами лучших электрохимических датчиков [2].

#### Список литературы

- [1] Бутурлин А.И., Габузян Т.А., Голованов Н.А. // Зарубежная электронная техника. 1983. № 10. С. 3-39.
- [2] Евдокимов А.В., Муришудли М.Н., Подлепецкий Б.И. и др. // Зарубежная электронная техника. 1988. № 2. С. 3-39.
- [3] Logothetis E.M., Park K., Meitzler A.H. // Appl. Phys. Lett. 1975. Vol. 26. N 4. P. 209-211.
- [4] Муртазин А.М., Зарафьянц Ю.А. // ФТП. 1975. Т. 9. Вып. 2. С. 354-356.
- [5] Petritz R.L. // Phys. Rev. 1958. Vol. 110. N 6. P. 1254-1262.
- [6] Кучис Е.В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. М.: Радио и связь, 1990. 264 с.

