

температурным донорам.

Доноры второго типа соответствуют температурам предварительной обработки 475—600 °С. Их электрическая активность обусловлена поверхностными состояниями на границе раздела преципитат—матрица.

Список литературы

- [1] Гринштейн П. М., Лазарева Г. В., Орлова Е. В., Сальник З. А., Фистуль В. И. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 1. С. 121—124.
- [2] Kanamori A., Kanamori M. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 12. P. 8095—8101.
- [3] Бабицкий Ю. М., Гринштейн П. М. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 4. С. 604—609.
- [4] Oerlein G. S., Corbett J. W. // Early stages of oxygen clustering and its influence on electrical behavior of silicon Defects in Semiconductors II / Ed. by S. Mahajan. J. W. Corbett. Amsterdam—N. Y., 1983. P. 107—123.
- [5] Баран Н. П., Барчук В. И., Гринштейн П. М., Орлова Е. В. // ФТП. 1989. Т. 15. В. 9. P. 1733—1736.
- [6] Bekman H. H. P., Gregorkiewicz T., van Wezep D. A., Ammerlaan C. A. // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. N 11. P. 4402—4405.
- [7] Reiche M., Reichel J. // Correlations between TD annihilation and oxygen precipitation in Chochralski-grown silicon, Materials Science Forum Vols. 38-41. Switzerland, 1989. P. 643—648.
- [8] Newman R. C., Oates A. S., Livingston F. M. // J. Phys. C: Sol. St. Phys. 1983. V. 16. P. 667—674.
- [9] Батавин В. В., Сальник З. А. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1982. Т. 18. В. 2. С. 185—188.
- [10] Бабицкий Ю. М., Васильева М. В., Гринштейн П. М., Мильвидский М. Г., Резник В. Я. // Кристаллография. 1990. Т. 35. С. 1212—1217.
- [11] Goselle V., Tan T. Y. // Appl. Phys. A. 1982. V. 28. N 2. P. 79—92.

Научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности
Москва

Получено 12.05.1991
Принято к печати 17.06.1991

ФТП, том 25, вып. 10, 1991

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭС ТВЕРДОГО РАСТВОРА $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Юрова Е. С., Картавых А. В.

Известно, что твердый раствор $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ является перспективным материалом для изготовления датчиков всестороннего сжатия на его основе [1]. Высокая чувствительность к давлению ($S = dp/dp/p_0$) обусловлена наличием близкорасположенных минимумов (000) и (100) в зоне проводимости этого материала. Зависимость величины S от состава твердого раствора в случае отсутствия вырождения может быть получена аналитически и представляет собой по данным работы [1] симметричную кривую с максимумом при комнатной температуре и давлениях, близких к 0, в области $x \cong 0.38$. Значение S в максимуме составляет $\cong 2 \cdot 10^{-4}$ бар⁻¹. По данным работы [1], результаты расчета достаточно хорошо соответствовали экспериментальным данным. Поскольку технологически более простым может оказаться получение легированного материала, интересно рассчитать зависимость S не только от состава, но и от уровня легирования. Кроме того, при эксплуатации датчиков могут встать задачи измерения более высоких давлений (до 2 кбар) при повышенных температурах (до 200 °С).

В переходной области составов $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ($x=0.3—0.5$), где электроны распределены между минимумами (000) и (100) зоны проводимости, удельное сопротивление ρ описывается выражением

$$\rho = b(1+c)/e\mu_1(n_1+n_2)/(1+c) \quad (1)$$

Здесь индексы 1 и 2 соответствуют минимумам (000) и $\pi_1^2(100)$ зоны проводимости, n и μ — концентрация и подвижность электронов, $b = \mu_1/\mu_2$, а c в случае произвольного уровня вырождения можно записать как

$$c = (m_1/m_2) F_{1/2}(E_f/kT) \exp((E_{12} - \alpha P - E_f)/kT), \quad (2)$$

где m — эффективная масса электронов, $F_{1/2}(E_f/kT)$ — интеграл Ферми, E_f — уровень Ферми, k — постоянная Больцмана, T — температура, E_{12} — энергетический зазор между минимумами (000) и (100), P — давление, а α — коэффициент пропорциональности. Коэффициент чувствительности к давлению определяется путем дифференцирования выражения (1) и составляет

$$S = \alpha/kT (b-1)c/(1+bc)/(1+c), \quad (3)$$

где ρ_0 — удельное сопротивление при $P=0$. Расчет зависимостей S от уровня легирования, давления и температуры проводился на ЭВМ, причем определение величины c производилось итерационным методом, а значения $F_{1/2}$ определялись интерполяцией табличных значений. При расчете использовались следующие известные из литературы [2] величины:

$$E_{12} = 0.823 \cdot (0.45 - x) - 5 \cdot 10^{-5}(T - 300) - 1.18 \cdot 10^{-4}P, \\ m_1 = 0.072 \cdot (1 + x)m_0 \text{ и } m_2 = 1.2m_0;$$

μ_1 и b определялись по эмпирической зависимости, полученной в работе [2].

В результате расчета были получены численные значения S в диапазоне составов $x=0.3-0.4$ для суммарной концентрации электронов, изменяющейся от $5 \cdot 10^{17}$ до $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, и интервала температур $20-200^\circ\text{C}$. Для каждого сочетания этих параметров рассчитывалась зависимость S от давления, а также среднее значение S_p и относительное среднеквадратическое отклонение этой величины в диапазоне давлений $0-2$ кбар, δ_p . Кроме того, при определенном составе и легировании рассчитывались средняя величина $S_t = \Sigma S_p/N$ (N — число рассчитанных значений S_p) и величина относительного среднеквадратического отклонения значений S_p , δ_t при изменении температуры в указанном диапазоне.

Очевидно, наиболее пригодным для датчиков давления является материал, обладающий минимальными величинами δ_p и δ_t при максимальном значении S_t . Было получено, что этим условиям удовлетворяет ряд твердых растворов с параметрами, представленными в таблице. Там же для удобства пользования

Оптимальные параметры твердого раствора $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$, обеспечивающие высокое значение чувствительности к давлению (S), а также максимальную стабильность величины S по температуре (δ_t) и давлению (δ_p)

x	$(n_1 + n_2) \cdot 10^{-18}, \text{ см}^{-3}$	$\delta_p, \%$	$\delta_t, \%$	$S_t \cdot 10^4, \text{ бар}^{-1}$	$n_x \cdot 10^{-18}, \text{ см}^{-3}$
0.32	5.5	6.4	4.2	1.9	2.8
0.33	5.0-5.5	6.2-5.9	5.1-5.8	2.0	2.5-2.7
0.34	3.5-5.0	6.6-5.6	4.4-6.7	2.0-2.1	1.8-2.4
0.35	2.0-4.0	7.0-5.9	3.9-6.9	2.0-2.2	1.1-1.9
0.36	0.5-2.5	5.1-6.6	4.8-6.8	1.7-2.2	0.3-1.2
0.37	1.0-1.5	5.6	7.1-7.6	2.2-2.3	0.5-0.7

приведена эффективная концентрация электронов n_x , получаемая при обработке результатов измерений эффекта Холла без учета проводимости по двум зонам. Как видно из таблицы, достаточно стабильные значения S при высокой абсолютной величине могут быть получены при различных сочетаниях состава и уровня легирования твердого раствора. Это, естественно, вытекает из того, что величина S определяется распределением электронов между минимумами

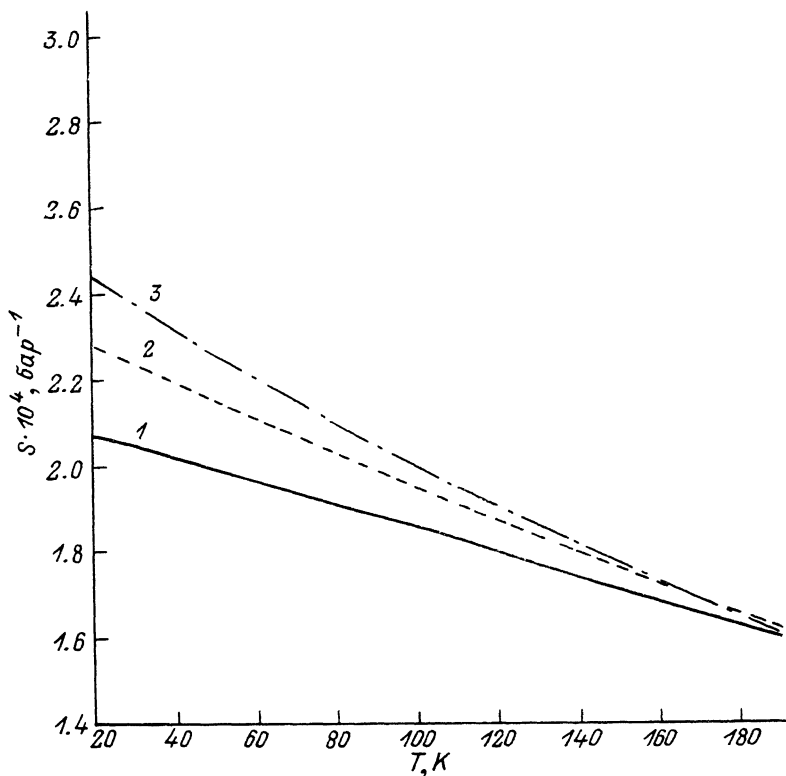


Рис. 1. Температурная зависимость чувствительности к давлению для $\text{GaAs}_{0.64}\text{P}_{0.36}$ при $n = 1.5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.
P, кбар: 1 — 0, 2 — 1, 3 — 2.

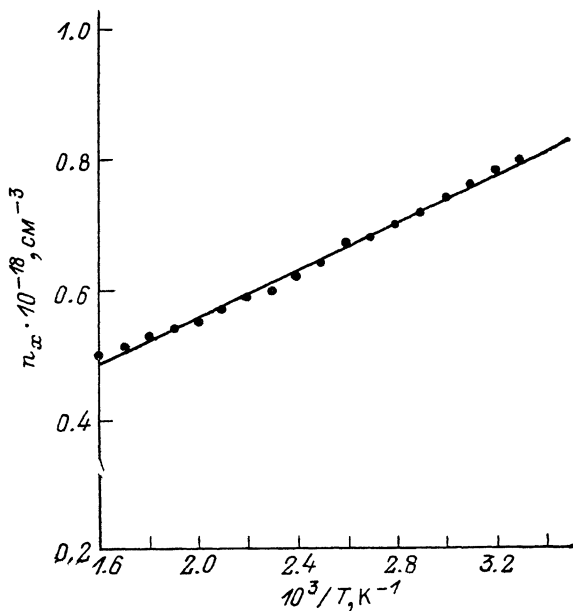


Рис. 2. Температурная зависимость эффективной концентрации электронов, измеренной с помощью эффекта Холла, для того же материала.