

11. Г. И. Ксандопуло. Химия пламени. М.: Химия, 1980.  
 12. А. А. Гуреев, Ю. М. Жаров, Е. В. Смидович. Производство высокооктановых бензинов. М.: Химия, 1981.  
 13. С. К. Westbrook, F. L. Dryer. Comb. Flame, 1980, 37.

Поступила в редакцию 2/VII 1985

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДАТЧИК ИМПУЛЬСНОГО ДАВЛЕНИЯ

К. Э. Бернотас, А. А. Грицюс, С. Г. Жиленис,  
 Ч. К. Петровский  
 (Вильнюс)

Для измерения импульсных давлений в газах и конденсированных средах наиболее часто применяются датчики на основе пьезоэлектрических [4—4] и манганиновых [5—6] преобразователей давления. Недостаток пьезоэлектрических преобразователей состоит в большом удельном сопротивлении ( $10^{11}$ — $10^{12}$  Ом·м), из-за чего требуются специальные соединительные линии и согласующая аппаратура.

Манганиновые преобразователи, наоборот, обладают очень низким удельным сопротивлением ( $5 \cdot 10^{-7}$  Ом·м) и к тому же малым коэффициентом чувствительности к давлению. Поэтому они мало пригодны для измерения давления ниже нескольких сот мегапаскалей.

Указанных недостатков не имеют преобразователи на основе чувствительных к объемному сжатию полупроводниковых материалов, в основном германия, антимонида галлия и твердых растворов арсенидов галлия и алюминия [7—9]. Они обладают сопротивлением в несколько сот ом и в десятки раз большим коэффициентом чувствительности к давлению, чем манганин. На наш взгляд, наиболее перспективны полупроводниковые преобразователи на основе твердых растворов арсенидов галлия и алюминия. Наряду с высокой чувствительностью к давлению (0,3—0,6 В/100 МПа), которая слабо зависит от температуры (0,03—0,05 %/К), они имеют высокую линейность зависимости сопротивления от давления (в диапазоне 0—100 МПа нелинейность менее 1,5%).

В данной работе приведена конструкция датчиков на основе полупроводниковых преобразователей из твердых растворов арсенидов галлия и алюминия и примеры их использования для регистрации и измерения давления при горении пороха.

Конструкция датчика приведена на рис. 1. Полупроводниковый преобразователь 1 помещен в полость 2, образованную корпусом 5 и приваренной к нему гибкой мембраной 3. Полость 2 заполнена кремнийорганической жидкостью. Корпус и мембрана выполнены из высокопрочных, коррозионно-стойких сталей. К корпусу мембрана приварена с помощью кольца 4. В основании корпуса размещены два герметичных электропровода в виде проволок 6, обеспечивающих подключение преобразователя к измерительной цепи. Изоляция 7 электропроводов выполнена из стекла.

Сущность принципа работы датчика состоит в следующем. При действии измеряемого давления мембрана изгибается, сжимая заключенную в полости жидкость, которая, в свою очередь, сжимает полупроводниковый преобразователь, изменяя его электрическое сопротивление. При снятии давления жидкость расширяется, возвращая мембрану в исходное положение.

Максимальное измеряемое давление  $p_{\max}$  для датчика данной конструкции может быть определено из условия упругости для наиболее напряженной точки мембраны, которой, согласно [10], является ее центр:

$$\sigma_r = \sigma_t = \frac{3 - \mu}{1 - \mu} \frac{E \omega_0^2}{4r^2} \leq \sigma_{\text{упр}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_r$ ,  $\sigma_t$  — радиальная и тангенциальная составляющая напряжения

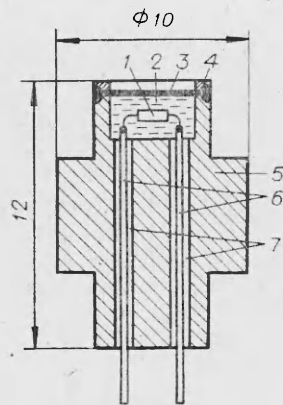


Рис. 1.

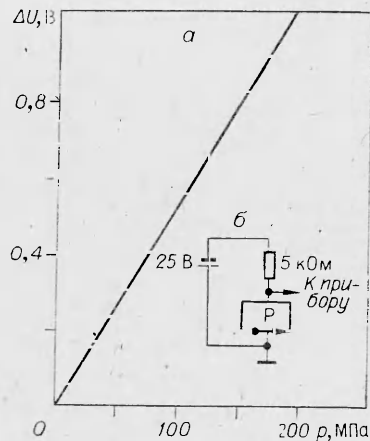


Рис. 2.

центра мембраны соответственно;  $\sigma_{\text{упр}}$  — предел упругости материала мембраны;  $\mu$  — коэффициент Пуассона;  $E$  — модуль Юнга;  $r$  — радиус мембраны;  $\omega_0$  — прогиб ее центра. Величина  $\omega_0$  определяется высотой столба жидкости  $H$ , ее сжимаемостью  $\beta$  и давлением

$$\omega_0 = z_p H \beta p_{\text{max}} \quad (2)$$

( $z_p$  — некоторая функция  $p_{\text{max}}$  [10]). При прогибах мембраны, на много больших ее толщины,  $z_p \approx 2$ . Подставляя (2) в (1), находим

$$p_{\text{max}} \leq \frac{r}{\beta H} \sqrt{\frac{(1-\mu) \sigma_{\text{упр}}}{(3-\mu) E}} \quad (3)$$

Принимая  $r = 3 \cdot 10^{-3}$  м,  $H = 6 \cdot 10^{-4}$  м,  $\beta = 10^{-3}$  МПа $^{-1}$ ,  $\mu = 0,3$ ,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\sigma_{\text{упр}} = 1,2 \cdot 10^3$  МПа, получаем  $p_{\text{max}} = 200$  МПа.

Электрическая цепь измерения приведена на рис. 2, б. Она состоит из последовательно соединенных датчика, источника постоянного напряжения и резистора. Сигнал снимается с датчика и подается на вход регистрирующего прибора, например цифрового вольтметра, запоминающего осциллографа и т. п. Тарировка полупроводниковых датчиков может быть проведена в статических условиях с применением грузопоршневого манометра МП-2500, класс точности 0,05. Зависимость выходного сигнала от давления при  $T = 300$  К представлена на рис. 2, а.

Динамическая погрешность измерения давления амплитудой до 50 МПа в диапазоне частот 0—10 кГц полупроводниковых датчиков определялась сравнением с пьезоэлектрическим датчиком PDE-500/14-2 фирмы RFT (динамическая погрешность 3,5%) [11]. Относительная динамическая погрешность полупроводниковых датчиков не превышала  $\pm 4,5\%$ . Датчики данной конструкции также подвергались испытаниям на надежность при воздействии до  $10^6$  импульсов давления длительностью порядка 1 мс и амплитудой 50 МПа. При этом относительная погрешность и градуировочная характеристика до и после испытаний совпадали в пределах точности их измерения.

Возможности полупроводниковых датчиков при регистрации импульсных давлений в процессе горения пороха исследовались в камере, схема которой представлена на рис. 3 [12]. Датчик 1 с помощью накидной гайки закреплялся в стенке камеры 3 с зарядом из

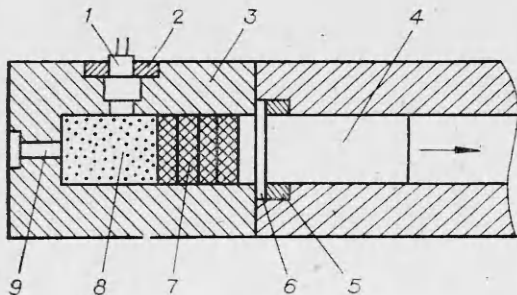


Рис. 3.

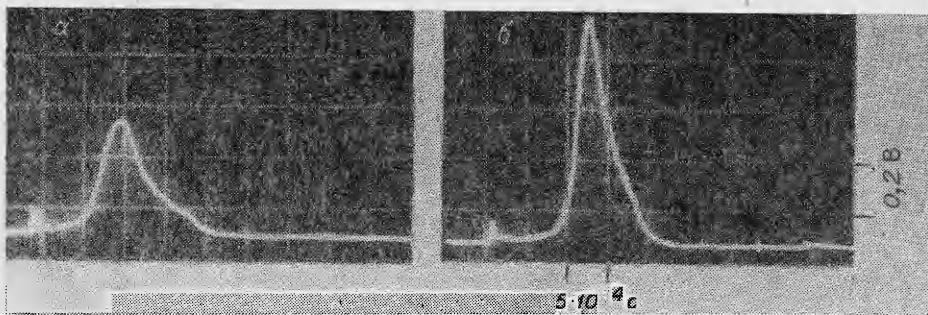


Рис. 4

пороха 8, воспламеняемого капсулой 9. Порох в камере уплотнялся картоновой пробкой 7 и цилиндром 4, содержащим тонкую дюралюминиевую шайбу 6, которая при возникновении в камере давления достаточной величины отсекалась стальной шайбой 5 и освобождала цилиндр 4. Изменяя массу порохового заряда, было возможно получать импульсы давления длительностью порядка  $10^{-3}$  с и амплитудой до 300 МПа.

На рис. 4 приведены типичные осциллограммы импульсов давления в камере, зарегистрированные при горении заряда пороха массой 3 и 6 г (рис. 4, а, б соответственно) с помощью полупроводникового датчика, градуировочная характеристика которого представлена на рис. 2, а. Характерно, что началу процесса воспламенения пороха предшествует ударная волна (резкие скачки давления в начале осциллограмм), инициируемая детонацией капсулы 9. Амплитуда УВ, согласно показаниям датчика, составляет 15—25 МПа. Вслед за ударной волной происходит воспламенение пороха и с ним связанный рост давления в камере. Максимальное давление продуктов горения пороха наблюдается приблизительно через  $10^{-3}$  с после детонации капсулы, а его величина составляет 80 и 170 МПа для 3 и 6 г заряда соответственно.

В целом, проведенные исследования показали, что разработанные полупроводниковые датчики способны надежно измерять импульсные давления длительностью менее  $10^{-4}$  с и амплитудой до 200 МПа. Простота схемы измерения в сочетании с высоким выходным сигналом обеспечивает полупроводниковые датчики существенными преимуществами перед манганиновыми и пьезоэлектрическими. Уменьшением высоты столба жидкости в датчике и увеличением радиуса его мембраны возможно расширение верхнего предела измеряемых давлений до 500 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Зайцев. ПТЭ, 1958, 6, 97.
2. Р. И. Солоухин. ПТЭ, 1961, 3, 170.
3. С. П. Бодренко, Н. Н. Гердюков, Ю. А. Крысанов и др. ФГВ. 1981, 17, 3, 146.
4. Т. П. Гавриленко, Ю. А. Николаев. ФГВ, 1982, 18, 3, 127.
5. Д. С. Циклис, Н. Д. Бородин. ПТЭ, 1965, 2, 200.
6. Ю. В. Батьков, Е. Д. Вишневский.— В кн.: Тез. докл. 3-го Всесоюзн. симпозиума по импульсным давлениям. М., 1979.
7. В. К. Кедринский, Р. И. Солоухин, С. В. Стебновский. ПМТФ, 1969, 4, 92.
8. И. И. Марьямова, Б. И. Сыдир, Ю. С. Екимов. Приборы и системы управления, 1981, 3, 35.
9. А. Матуленис, Ю. Пожела, Е. Шимулите и др.— В кн.: Электроника в полупроводниках. Полупроводниковые преобразователи. Вильнюс: Мокслас, 1980.
10. Л. Е. Андреева.— В кн.: Упругие элементы приборов. М.: Машгиз, 1962.
11. А. А. Грицос, Б. И. Кевелайтене, А. Э. Пилибавичюс и др. Приборы и системы управления, 1982, 7, 29.
12. К. Е. Бернотас.— В кн.: Матер. республ. научн.-техн. конф. Каунас, 1969.

Поступила в редакцию 18/IV 1985