

Подставляя последние соотношения в (7), возвращаясь к исходным переменным r , t и определяя постоянные A и B из начальных (3) и граничных (4) условий, получаем: при $vt \leq r \leq ct$

$$E(r, t) = -H_0 F(\beta) \left[\left(\frac{vt - \beta r}{r} \right)^2 + 2\beta \left(\frac{vt - \beta r}{r} \right) \right]^{1/2}$$

$$H(r, t) = H_0 \left\{ 1 - \beta F(\beta) \ln \left[2 \left(\frac{vt - \beta r}{r} \right)^2 + 2\beta \left(\frac{vt - \beta r}{r} \right) \right]^{1/2} + 2 \left(\frac{vt - \beta r}{r} \right) + 2\beta \right\}$$

$$F(\beta) = \{ \sqrt{1 - \beta^2} - \beta \ln [2(1 + \sqrt{1 - \beta^2})] \}^{-1}$$

при $r > ct$

$$H = H_0, E = 0$$

Можно непосредственной проверкой убедиться, что эти формулы дают решение задачи (1) — (4).

Приведенные результаты могут быть полезны при оценке диамагнитных возмущений, сопровождающих расширение ствола грозового разряда, распада следов быстро движущихся тел в атмосфере в магнитном поле Земли, при изучении диамагнетизма искры лазера на ранних стадиях развития, а также в других процессах взрывного характера с цилиндрической симметрией во внешнем магнитном поле

Поступила 17 VI 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Руткевич И. М. Электромагнитное поле в сжимающейся полости. ПММ, 1967, т. 31, № 3.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика, т. 2. Теория поля. М., Физматгиз, 1962.
3. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. М., Гостехиздат, 1957

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН В ЖИДКОСТИ ($\geq 10^3$ атм)

В. К. Кедринский, Р. И. Солоухин, С. В. Стебновский

(Новосибирск)

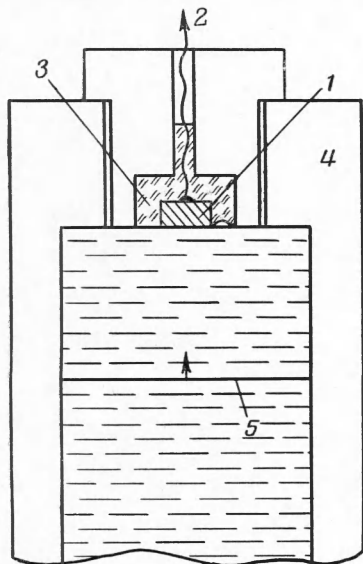
Приведены описание полупроводникового датчика давления на основе германия для измерения ударных волн в диапазоне $10^3 \div 10^4$ атм и результаты регистрации давления в гидродинамической ударной трубке.

Как известно, для регистрации давления в ударных волнах используются преимущественно датчики на основе пьезоэффекта с применением в качестве рабочих элементов кристаллов кварца, турмалина или пьезокерамики титаната бария и цирконата-титаната свинца [1,2]. Из-за низких прочностных свойств этих элементов такими датчиками не удается измерить давления выше 10^3 атм, а применение различного рода переходных устройств для снижения ударных нагрузок существенно искажает регистрируемый закон изменения давления со временем и в связи с этим может быть оправдано лишь при записи интегральных характеристик процесса.

В работе [3] авторами данной статьи, столкнувшимися с необходимостью измерять давления $10^3 \div 10^4$ атм, было предложено использовать для измерения сильных ударных волн полупроводниковые датчики давления на основе германия, объемная проводимость которого (или проводимость контакта с p - n -переходом) существенно зависит от давления. Основной вклад в зависимость проводимости германия от давления вносит изменение ширины запрещенной зоны E , которое, как экспериментально установлено в работе [4], составляет примерно 0,1 эв при изменении давления на 10^4 атм и приводит к изменению концентрации носителей, являющейся экспоненциальной функцией E , почти на порядок величины.

Ниже рассматривается одна из возможных конструкций полупроводникового датчика, применяемого для измерения давления в гидродинамической ударной трубке, использующей принцип столкновения столба жидкости, разогнанного до определенной скорости в вакуумированном канале, с покоящимся столбом жидкости [3].

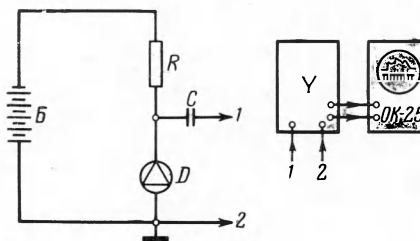
Конструктивная схема датчика и способ его постановки в ударной трубке приведены на фиг. 1, на которой 4 — стальная камера с жидкостью, 2 — контакт, 5 — фронт ударной волны. Воспринимающий элемент 1, в качестве которого использовался германиево-кремниевый сплав (Si — 8%), имеет линейные размеры $1 \times 1 \times 0,5$ мм³, заливается эпоксидной смолой 3 (наполнитель — электрокорундовый порошок) с последующей полимеризацией. Элемент 1 является частью торца ударной трубки.



Фиг. 1

Электрическая схема включения датчика представлена на фиг. 2, где R — сопротивление нагрузки, $C = 0,6$ мкф, B — батарея аккумуляторов, D — датчик.

Полупроводниковые датчики применялись при регистрации давления в ударных волнах в диапазоне 300—5000 атм. Нижний предел этого диапазона в экспериментах практически определялся чувствительностью используемого в схеме усилителя Y (0,25 см/мв). Чувствительность регистрирующей схемы была не ниже $1/300$ мв/атм.



Фиг. 2

Типичная осциллограмма давления приведена на фиг. 3 (масштаб времени 10 мксек). Минимальное время нарастания фронта в экспериментах составляло ≤ 2 мксек и определялось наличием слоя смолы на поверхности полупроводникового элемента, так как собственная частота элемента при скорости распространения звука в кристалле 4930 м/сек (по направлению движения ударной волны) составляет около $3 \cdot 10^7$ гц. Это дает принципиальную возможность разрешать фронты до долей микросекунд.

Наблюдаемые на осциллограммах флуктуации давления за фронтом более низкочастотны и определяются характером регистрируемого процесса.

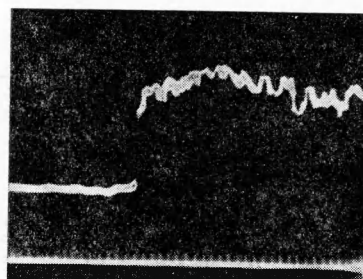
Полупроводниковые датчики давления на основе германия отличаются низкоомностью — их сопротивление, как правило, составляет всего несколько сотен ом, что обеспечивает хорошую надежность предлагаемых датчиков в смысле защиты от помех.

Тарировка этих датчиков может быть осуществлена по взрыву зарядов ВВ, на гидродинамической ударной трубке [3] — по скорости столба жидкости u в момент торможения

$$p = \frac{1}{4} u^2 \left[\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \right]^{-1}$$

(удар «жидкость — жидкость»), где ρ и p — соответственно плотность и давление во фронте ударной волны, или статическим методом.

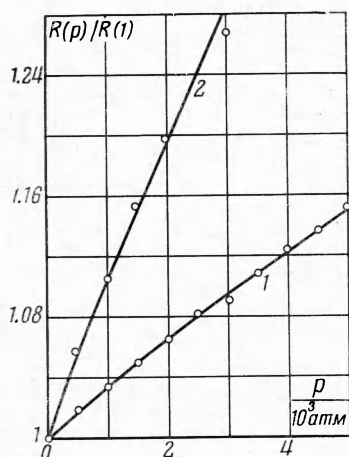
Результат тарировки статическим методом (масло) в виде зависимости относительного сопротивления датчика (германиево-кремниевое — 1 и контакта с p - n -переходом — 2) от давления при температуре 18° С и сопротивлениях воспринимающих



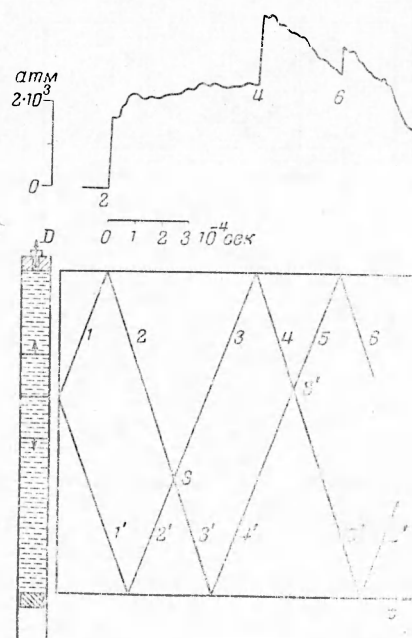
Фиг. 3

элементов соответственно 471 и 747 ом приведены на фиг. 4. Зависимость носит линейный характер и, кроме того, для первого из названных элементов согласно данным работы [4] сохраняется такой до давления 20 000 атм . Наличие контакта с p - n -переходом значительно увеличивает чувствительность регистрирующей схемы (фиг. 4), но уменьшает сопротивляемость механическим нагрузкам.

На фиг. 5 приведена осциллограмма давления и схема взаимодействия ударных волн в ударной трубке [3]. При ударе «жидкость — жидкость» по покоящейся и заторможенной средам распространяются ударные волны 1 и 1' соответственно. Датчик D , стоящий в торце ударной трубки, регистрирует первую отраженную волну 2. Повышение давления за фронтом волны 2 вызвано продолжающимся после удара постепенным поджатием заторможенной жидкости. За фронтом же отраженной от поршня ударной волны 2' должен наблюдаться спад давления из-за перемещения поршня под действием нагрузки 1'. Этот эффект и регистрируется датчиком после столкновения в точке S волн 2 и 2' (второй скачок на осциллограмме). Далее процесс повторяется: третий скачок давления на осциллограмме соответствует отражению от торца волны, полученной в результате повторения столкновения (S') отраженных волн.



Фиг. 4



Фиг. 5

Как видно из фиг. 5, осциллограмма давления точно передает все процессы, происходящие после соударения столбов жидкости.

Предлагаемый датчик надежен в эксплуатации и может применяться для давлений значительно выше тех $5 \cdot 10^3 \text{ атм}$, которыми ограничивались в экспериментах. При работе использовался также вариант конструкции датчика в виде зонда, аналогичный описанным в работах [1,3].

Авторы признательны Б. И. Заславскому за интерес к работе, рекомендации и полезные замечания.

Поступила 3 III 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. С и н а н и И. Б. Турмалиновые индикаторы ударных волн в жидкостях, Приборы и техника эксперимента, 1957, № 4.
2. С о л о у х и н Р. И. Импульсный пьезодатчик давления. Приборы и техника эксперимента, 1961, № 3.
3. В о р о т н и к о в а М. И., К е д р и н с к и й В. К., С о л о у х и н Р. И. Ударная трубка для исследования одномерных волн в жидкости. Научн. техн. пробл. горения и взрыва, 1965, № 1.
4. П о л В., В а р ш а у э р Д. Роль давления при исследовании полупроводников. В сб: «Твердые тела под высоким давлением», М., «Мир», 1966.