

дробления с последующим сращиванием, но с меньшей упругой и поверхностной энергией в системе). Возмущения различной природы, нарушающие форму, всегда имеются в реальных условиях. Из (2.2), (2.8) следует  $\xi_l \sim \xi_{0l} (R/R_{c3})^{(V^{z(z+4)+4l^2-z-2})/2h}$ , т. е. возмущения быстро растут с увеличением  $l$  и  $R$ . Поэтому характерный масштаб кристаллитов в поликристалле  $R_{кр} \sim R_{c3}$ . Оценим из (2.11) размер кристаллита в поликристалле в случае перехода графит — алмаз. Имеем  $\alpha \approx \approx 10^{-4} - 10^{-3}$  Дж/см<sup>2</sup>,  $V_1 - V_2 = 0,17$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_2 = 3,5$  г/см<sup>3</sup>, при  $\delta p \approx \approx 0,1$  ГПа получим  $R_{c3} \approx 10^{-4} - 10^{-3}$  см, что соответствует экспериментальным данным.

Если поликристаллы растут в условиях падения давления в камере, вызванных фазовым переходом, то, как это вытекает из (2.14), (2.15), выращенное поликристаллическое зерно неоднородно: кристаллиты на периферии крупнее, чем в центре.

Предложенный механизм образования поликристаллов кинетически и термодинамически более выгоден, чем известный механизм спонтанного образования большого количества зародышей новой фазы сразу во всем объеме и последующего их роста и сращивания. Действительно, как известно [5], число прошедших (в 1 с, в 1 см<sup>3</sup> среды) критическую область зародышей в стационарных условиях есть  $S = 2 \left( \frac{\alpha}{T} \right)^{1/2} B(R_*) f_0(R_*)$ ,

где  $f_0(R_*) = \frac{R_*^2}{v_1 v_2} \exp \left\{ - \frac{4\pi\alpha R_*^2}{3T} \right\}$ ;  $B(R_*)$  — коэффициент диффузии в пространстве размеров;  $v_1, v_2$  — объем фаз, приходящийся на одну молекулу.

С помощью (2.2) получим

$$(4.1) \quad S = \frac{\kappa_1 (\alpha T)^{-1/2} N_A^2 \rho_1}{4\pi M^2 (V_1 - V_2)} \left( \frac{dT}{dp} \right)^2 \exp \left\{ - \frac{16}{3} \frac{\pi v_2^2 \alpha^3}{(v_1 - v_2)^2 T (\delta p)^2} \right\}$$

( $N_A$  — число Авогадро,  $M$  — молекулярный вес).

В поликристалле алмаза размером  $\sim 1$  см содержится  $\sim 10^{12} - 10^9$  кристаллитов. Число же зародышей, прошедших критическую область, как это следует из (4.1), очень мало.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mullins W. W., Sekerka R. F. Morphological stability of particle growing by diffusion or heat flow // J. Appl. Phys. — 1963. — V. 34.
2. Бычков Ю. А., Иорданский С. В. Неустойчивость границы раздела фаз в процессе фазового превращения // ПМТФ. — 1980. — № 5.
3. Sekerka R. F. Application of the time dependent theory of interface stability to an isothermal phase transformation // J. Phys. Chem. Solids. — 1967. — V. 28, N 6.
4. Лифшиц И. М., Слезов В. В. О кинетике диффузионного распада пересыщенных твердых растворов // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 35, вып. 2.
5. Лифшиц Е. М., Пятаевский Л. П. Физическая кинетика. — М.: Наука, 1979.

Поступила 20/XI 1986 г.

УДК 532.593 : 531.78

### ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ВОЛН МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ КВАРЦЕВЫМ ДАТЧИКОМ В РАЗНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ

А. П. Степовик  
(Челябинск)

Как известно [1], ток, протекающий через низкоомную нагрузку кварцевого датчика, связан с механическими напряжениями, действующими на его плоскости в направлении нормали к ним, следующим образом:

$$(1) \quad i(t) = (kSc_0/l)[P_1(t) - P_2(t)].$$

Здесь  $k$  — коэффициент пьезочувствительности кварца;  $S$  — площадь плоскости датчика;  $c_0$  — скорость звука в кварце;  $l$  — толщина кварца;  $P_1(t)$  и  $P_2(t)$  — напряжения, действующие на лицевую и тыльную плоскости датчика соответственно.

Согласно (1), при регистрации напряжений с длительностью, большей времени прохождения волны по кварцу, в течение времени  $l/c_0$  ток  $i(t)$  пропорционален  $P_1(t)$ , а при  $t > l/c_0$  пропорционален разности напряжений  $P_1(t)$  и  $P_2(t)$ . Поэтому для более легкой интерпретации формы регистрируемого сигнала обычно накладывается ограничение на его длительность, которая не должна превышать  $l/c_0$ . Тогда  $P_2(t) = 0$  и выражение (1) сводят к  $i(t) = (kSc_0/l)P_1(t)$  для  $0 < t < l/c_0$ . Если же при сохранении ограничения на длительность регистрируемого сигнала с помощью такого датчика проводить измерения в другом временном интервале ( $l/c_0 < t < 2l/c_0$ ), то, как видно из (1), регистрируемый ток будет определяться напряжением, действующим на тыльную поверхность датчика:

$$(2) \quad i(t) = -(kSc_0/l) (1 + R)P_1(t - l/c_0) \text{ для } l/c_0 < t < 2l/c_0,$$

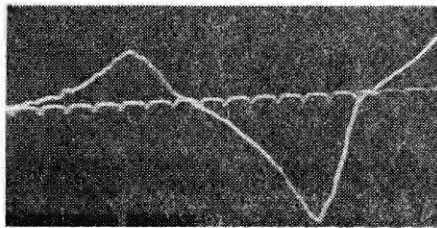
где  $R$  — коэффициент отражения на тыльной стороне датчика:  $R = (z_1 - z_2)/(z_1 + z_2)$ ;  $z_1$  и  $z_2$  — волновые импедансы кварца и материала, граничащего с тыльной стороной датчика.

Возможность проведения измерений кварцевым датчиком после прохождения волны напряжений по его толщине высказана в [2] без подтверждения экспериментом. Ниже излагаются результаты экспериментальной проверки соотношения (2) при наличии ограничения на длительность регистрируемого процесса  $l/c_0$ .

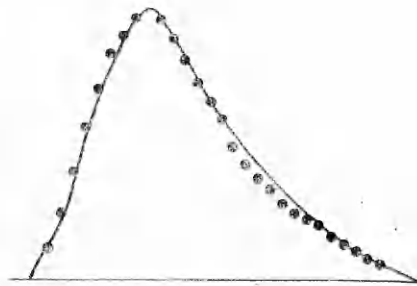
В качестве источника волн механических напряжений короткой длительности использовали импульсные электронные установки, аналогичные [3]. Длительность импульса электронов составляла  $(0,4 \dots 2) \cdot 10^{-7}$  с, а средняя энергия электронов  $\sim 1,8$  МэВ. Пучок электронов падал на пластину материала-поглотителя, в которой формировалась волна механических напряжений с амплитудой до 0,6 ГПа. К поглотителю приклеивали кварцевый датчик (пластина кварца X-среза), у которого тыльная сторона либо оставалась свободной, либо к ней приклеивали пластину из сплава АМгб или меди М1 (согласователь). Использовали датчики без охранного кольца с различным отношением диаметра к толщине. Максимальный диаметр датчика 40 мм, минимальное отношение диаметра к толщине равно 5.

При таком способе создания напряжений в поглотителе образуется биполярный импульс давления сжатие — разрежение [4, 5]. Были приняты меры для того, чтобы на датчик действовал только импульс сжатия. С этой целью поглотитель делали составным из двух пластин, толщина первой (облучаемой) была несколько больше длины пробега электронов. Заметим, что практически такой же результат может быть получен, если амплитуда импульса разрежения существенно превысит прочность склейки поглотителя и датчика.

Регистрировали форму и амплитуду импульсов тока датчика в двух временных интервалах:  $0 < t < l/c_0$  — положительный импульс,  $l/c_0 <$



Р и с. 1



Р и с. 2

Согласователь	$1+R$	$i_-/i_+$
Медь М1 (мягкая)	0,6	0,63+0,045
Сплав АМгб	0,95	1,01+0,083
Отсутствует (свободная поверхность)	2,0	2,08+0,13

$< t < 2l/c_0$  — отрицательный импульс. Характерная осциллограмма сигнала, снимаемого с датчика, приведена на рис. 1. Длительность меток 0,1 мкс.

В таблице даны расчетные значения  $1+R$  и измеренные отношения амплитуд

положительного  $i_+$  и отрицательного  $i_-$  импульсов, указана также среднеквадратичная погрешность измерений. Как видно из таблицы, отношения амплитуд импульсов тока датчика, измеренных в разные временные интервалы, при изменении условий на тыльной поверхности датчика достаточно хорошо совпадают с расчетными значениями  $1+R$ . Следует заметить, что в случае, если длительность импульса сжатия близка к  $l/c_0$ , иногда наблюдали существенное превышение расчетных значений  $1+R$ , что связано, по-видимому, с возбуждением кварца.

Проверка совпадения формы импульса тока датчика, регистрируемого в разные временные интервалы, проведена графически. При этом импульсы нормировали на максимум. На рис. 2 представлен результат наложения импульса тока, зарегистрированного в интервал времени  $0 - l/c_0$  (линия), на импульс, зарегистрированный в интервал  $l/c_0 - 2l/c_0$  (точки), при совмещении максимумов (см. рис. 1). Видно достаточно хорошее совпадение формы сигналов.

Таким образом, можно утверждать, что в области давлений до 0,6 ГПа при регистрации сигналов с длительностью, меньшей времени прохождения волны напряжений по кварцу, соотношение (2) справедливо и измерения во временных интервалах  $0 - l/c_0$  и  $l/c_0 - 2l/c_0$  эквивалентны.

Этот вывод имеет практическое применение. Так, при проведении исследований механических напряжений на импульсных электронных установках, где велик уровень помех, обусловленный их работой, регистрация полезного сигнала при отражении волны напряжений от тыльной поверхности датчика позволяет повысить помехоустойчивость измерений. Это достигается как за счет акустической задержки сигнала относительно импульса электронов, в качестве которой используется сам датчик, так и за счет увеличения амплитуды сигнала и, следовательно, улучшения соотношения сигнал — помеха. Кроме того, с помощью такого способа регистрации можно достаточно быстро измерить волновой импеданс неизвестного материала, используя его в качестве согласователя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Graham R. A., Neilson F. W., Benedick W. B. Piezoelectric current from shock-loaded quartz. A submicrosecond stress gauge // J. Appl. Phys.— 1965.— V. 36, N 5.
2. Jones O. E., Neilson F. W., Benedick W. B. Dynamic yield behaviour of explosively loaded metals determined by a quartz transducer technique // J. Appl. Phys.— 1962.— V. 33, N 11.
3. Бакулин Ю. Д., Дьянков В. С. и др. Ускорители прямого действия с индуктивным накопителем энергии и взрывающимися проводниками // Приборы и техника эксперимента.— 1979.— № 2.
4. Беснялько А. А., Геринг Г. И. Акустическая дозиметрия интенсивных электронных пучков // ЖТФ.— 1980.— Т. 50, вып. 1.
5. Глушак Б. Л., Новиков С. А. и др. Исследование волн напряжения в стеклотекстолите и фторопласте при их быстром разогреве излучением // ПМТФ.— 1980.— № 6.

Поступила 25/VI 1987 г.