

М. Ф. Гоголя, М. А. Бражников

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ NaCl

Экспериментально определены интенсивности люминесцентного излучения поликристаллических и кристаллических образцов NaCl при давлении 28,5 ГПа, которые отличаются примерно в 50 раз. Превышение уровня излучения поликристаллических образцов объясняется исходной дефектностью структуры.

Экспериментальное определение температуры ударного сжатия кристаллов NaCl [1, 2] в диапазоне давлений $p = 20 \div 45$ ГПа показало наличие световых потоков, значительно превосходящих ожидаемые. Регистрируемое излучение заведомо нетепловое, а под экспериментальной температурой в этом случае подразумевают величину, найденную в предположении, что излучение носит равновесный характер и подчиняется законам Планка и Кирхгофа, т. е. эта эффективная температура есть мера светового потока.

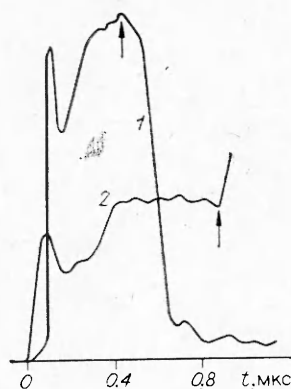
Природа такого рода излучения при ударном нагружении в той или иной форме связывалась с «разрушительным» действием ударной волны (УВ), с микроразрушениями кристаллов, с механическими напряжениями и с созданием структуры, высоко насыщенной дефектами. В связи с этим, представляет интерес экспериментальное определение излучения образцов, которые уже в исходном состоянии содержат различного рода неоднородности.

В данной работе рассмотрено влияние дефектности структуры и незначительных воздушных включений на уровень люминесцентного излучения NaCl. Для этого использовались поликристаллические образцы, приготовленные холодным прессованием порошка химически чистого NaCl до плотностей $\rho = 2,10$ г/см³, что составляло 0,98 от плотности монокристалла. Высота образцов $h \approx 3$, диаметр $d = 40$ мм. Использованные для сравнения излучения кристаллические образцы имели высоту около 5 мм.

Ударные волны интенсивностью 28,5 ГПа создавались детонацией заряда гексогена с $\rho = 1,70$ г/см³, $d = 40$ мм и $h = 50$ мм. Заряды инициировались генератором плоского фронта. Между зарядом и образцом находился алюминиевый экран толщиной $\sim 2,5$ мм. Прилегающая к экрану торцевая, а также боковые поверхности образцов покрывались черным нитролаком, что обеспечивало хороший контакт и исключало возможность регистрации постороннего излучения. На верхний торец помещалась индикаторная жидкость (CCl₄), которая при воздействии УВ теряет свою прозрачность, что позволяет фиксировать момент выхода волны из образца. Излучение регистрировали на двухканальном пирометре с эффективными длинами волн 720 и 420 нм из центральной области образцов, ограниченной диафрагмой 5 мм.

Полученные регистрации интенсивностей излучения во времени приведены на рисунке. Характер записей не сильно отличается, хотя для поликристаллических образцов, которые при нормальных условиях сильно рассеивали свет, можно было ожидать более резкого нарастания сигнала по мере продвижения УВ к контактной границе с CCl₄. Уровень интенсивности излучения от поликристаллических образцов, измеренный в момент выхода из них УВ, примерно в 50 раз превосходит излучение от кристалла. Если эти интенсивности перевести в эффективные яркостные температуры, то они имеют значения 4200 и 2650 К, последнее согласуется с [1].

Сам характер записи выявляет особенность, присущую обеим системам. Это относится к началу регистрации, когда примерно 0,2 мкс имеет место пик излучения с относительно малыми временами нарастания и



Регистрация изменения интенсивности излучения во времени в поликристаллическом (1) и кристаллическом (2) образцах ($\lambda_{эф} = 420$ нм).

спада, сравнимыми с временной разрешающей способностью установки. Тонкая прослойка лака ($\sim 0,02$ мм) между экраном и образцом не может при одной интенсивности УВ давать столь разные величины излучения. Дальнейший ход записи для кристаллической структуры определяется подъемом с выходом на плато, а для поликристаллической рост излучения дополнительно связан с уменьшением рассеивающего и поглощающего слоя, еще не сжатого УВ. Стрелками на рисунке отмечены моменты, когда УВ из образца выходит в CCl_4 . Общая продолжительность записи соответствует скорости волны при давлении 28,5 ГПа.

Априори, природу первого пика можно было бы связать с двумя обстоятельствами: особенностями излучения вещества, претерпевающего фазовое превращение, и влиянием эффектов, сопровождающих выход УВ из металлического экрана и лака в исследуемые образцы (типа потоков заряженных частиц ионов или электронов, возникновение электрического поля, контактной разности потенциалов и т. д.). Первая причина рассматривается из-за возможности перехода NaCl в диапазоне 26—30 ГПа из фазы В1 в В2 [3]. Наличие такого перехода должно сопровождаться падением термодинамической температуры, но с этой позиции трудно объяснить дальнейший подъем интенсивности излучения.

По-видимому, наблюдаемый пик излучения связан со второй группой причин — с влиянием процессов, сопровождающих выход ударной волны в образец. При прохождении УВ через контактную границу между металлом и образцом возможно возникновение контактной разности потенциалов, при этом величины индуцированной ЭДС могут достигать нескольких вольт [4, 5]. Это приводит либо к электрическому пробое, либо к инжектированию электронов из материала экрана (лака) в образец (либо к другим сходным процессам). В последнем случае электроны будут ускоряться до оптических энергий на дефектах, где происходит расщепление и создание новых электронных уровней [6, 7]. По этой теории мощность излучения связывается с количеством дефектов, образующих промежуточные донорные уровни, которых в случае поликристаллической системы с учетом воздушных включений значительно больше. Скорей всего, это и объясняет при подобии записей разный уровень регистрируемого излучения. Естественно, что влияние инжектированных извне электронов или какой-либо другой контактный эффект может иметь место лишь в узкой области образца, прилегающей к экрану. Поэтому такое «контактное» излучение должно быстро затухать по мере распространения УВ по образцу. (Аналогичные пики излучения авторы наблюдали и при контакте металлов (Cu, Al) и некоторых жидкостей (H_2O , $C_3H_5(OH)_3$) в диапазоне давлений, где последние прозрачны.)

В рамках приведенных в [7] рассуждений можно объяснить и последующий ход изменения интенсивности излучения во времени. На начальном этапе распространения УВ по образцу (без учета «контактного» излучения) существует период нарастания светового потока из-за увеличения до некоторого предела эффективно излучающего слоя.

Таким образом, проведенное экспериментальное сравнение интенсивностей люминесцентного излучения поликристаллических и кристаллических образцов NaCl показывает прямую связь с дефектностью структуры, а также позволяет предположить, что регистрируемые записи являются суперпозицией «контактного» и «собственного» излучений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кормер С. Б., Синицын М. В., Кириллов Г. А. Экспериментальное определение температур ударно-сжатых NaCl и KCl и их кривых плавления до давлений в 700 кбар // ЖЭТФ.— 1965.— 48, № 4.— С. 1033.
2. Schmitt D., Svendsen B., Ahrens T. J. // Shock waves in condensed matter-85/Ed. by Y. M. Gupta.— N. Y.; Lond.: Plenum Press, 1986.— P. 261.
3. Ahrens T. J., Lyzenga G. A., Mitchell A. C. // High pressure research in geophysics/Advances in Earth and Planetary Sci. (Japan).— 1982.— 12.— P. 579.
4. Иванов А. Г., Новицкий Е. З., Минеев В. П. и др. // ЖЭТФ.— 1967.— 53, № 1.— С. 41.
5. Минеев В. Н., Иванов А. Г. ЭДС, возникающая при ударном сжатии вещества // УФН.— 1976.— 119, № 1.— С. 75.
6. Кормер С. Б., Синицын М. В., Кириллов Г. А. и др. Экспериментальное определение коэффициента поглощения света ударно-сжатым NaCl. Механизм поглощения и проводимости // ЖЭТФ.— 1965.— 49, № 1.— С. 135.
7. Зельдович Я. Б., Кормер С. Б., Урлин В. Д. Неравновесное излучение ударно-сжатых ионных кристаллов при $T > 1$ эВ II.

г. Москва

Поступила в редакцию 10/V 1990

УДК 536.71 + 539.63

В. Г. Щегунин

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

Предложено универсальное двучленное уравнение состояния для твердых и жидких веществ, включающее три параметра, два из которых известны для большинства веществ, а третий можно определить по небольшому участку экспериментальной изотермы или по одной экспериментальной точке на ударной адиабате. Приведены параметры предложенного уравнения состояния для нескольких десятков соединений из всех классов твердых и жидких веществ.

Для расчета параметров состояния конденсированных веществ при высоких давлениях и температурах широкое распространение получили двучленные уравнения, в которых давление представляется в виде суммы холодной и тепловой составляющих [1]. В этих уравнениях тепловая составляющая давления может быть записана в явном виде одинаковым образом для всех веществ. Однако холодная составляющая такого универсального вида не имеет. Для ее описания используются эмпирические потенциалы, которые подбираются для определенного класса веществ или даже индивидуально под отдельное вещество. При этом потенциалы имеют, как правило, довольно сложный вид и не менее трех неизвестных коэффициентов, для определения которых необходимы экспериментальные данные по сжимаемости в широком диапазоне давлений, строго говоря в диапазоне, подлежащем описанию. По этой причине воспользоваться существующими уравнениями для малоисследованных веществ бывает трудно. Кроме того подобные уравнения редко используются для жидких веществ.

В данной работе предлагается простое универсальное уравнение состояния для твердых и жидких веществ, определение параметров которого не требует широкого массива экспериментальных данных по сжимаемости.

Основная проблема в двучленных уравнениях состояния состоит в нахождении вида холодной составляющей давления. Разложим давление p как функцию удельного объема v при постоянной температуре T_0 в степенной ряд в окрестности начального состояния $p_0(v_0, T_0) = 0$

$$p(x, T_0) = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i (\partial^i p / \partial x^i)_0 (1-x)^i / i!, \quad (1)$$

$x = v/v_0$; индексом 0 отмечены значения параметров в начальном со-