

- magnetic and electrical properties // J. Non-Cryst. Solids. 1980. Vol. 38/39. P. 301-306.
18. Bottcher R., Langhammer H.T., Muller T. EPR parameters of Mn^{4+} in $BaTiO_3$ crystals. // J.Phys.Condens.Matter. 2005. V.17. P. 4925-4929.

УДК 533

**В.С. Зиборов¹, Р.А. Галиуллин^{1,2}, В.П. Ефремов¹,
В.В. Шумова¹, В.Е. Фортов¹**

¹Объединённый Институт Высоких Температур РАН (ОИВТ РАН)

²ООО «РезонансЪ»

**ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ШЛИРЕН МЕТОДА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СТРУКТУРЫ ФРОНТА
УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ГЕЛИИ
С МАЛОЙ ПРИМЕСЬЮ ТЯЖЕЛЫХ МОЛЕКУЛ**

Аннотация. Изменение градиента плотности газа во фронте ударной волны в He, содержащем (0.1 – 1.0)% Xe, измерено лазерным шлирен методом в диапазоне чисел Маха $M=(2.8 - 3.1)$ при давлениях за фронтом УВ в условиях равновесия $P=(0.4 - 0.6)$ атм. Обнаружено, что протяженность зоны поступательной релаксации УВ в исследованном диапазоне линейно растет с концентраций Xe.

Ключевые слова: фронт ударной волны, градиент плотности, пространственное разрешение, неравновесная функция распределения энергии парных соударений, зона поступательной релаксации

**V. Ziborov¹, R. Galiullin^{1,2}, V. Efremov¹,
V. Shumova¹, V. Fortov¹**

¹Joint Institute for High Temperatures of RAS (JIHT)

²ООО «ResonansЪ»

**APPLICATION OF LASER SHLIEREN METHOD
FOR MEASUREMENT OF SHOCK FRONT STRUCTURE
IN HELIUM WITH SMALL ADMIXTURE
OF HEAVY MOLECULES**

Abstract. Change in the gradient of gas density in the shock wave front in He containing (0.1 - 1.0)% Xe is measured using the laser schlieren method in the range of Mach numbers $M = (2.8 - 3.1)$ at equilibrium pressures behind the

shock front $P = (0.4 - 0.6)$ atm. It is found that the length of the shock front in this range increases linearly with the concentration of Xe.

Keywords: shock wave front, density gradient, space resolution, nonequilibrium distribution function of binary collisions energy, translation relaxation zone

В работах [1,2] было обнаружено, что распространение фронта слабой ударной волны в лёгком инертном газе He, содержащем малую примесь тяжелых молекул Mo (CO)₆, сопровождается интенсивным неравновесным излучением в УФ диапазоне, появлением заряженных частиц и электронного предвестника. Обнаружено, что эффективная энергия активации ионизации составляет всего ~ 0.8 эВ, что почти на порядок величины ниже, чем порог ионизации Mo(CO)₆, при том, что равновесные температура и давление за УВ ($T \sim 1000$ К, $P \sim 0.5$ атм.) были весьма умеренными.

Количественное описание механизма наблюдаемого эффекта требует знания неравновесной функции распределения энергии парных соударений во фронте УВ, для численного моделирования которой необходимы данные распределения плотности, чтобы устранить неопределённость при выборе подгоночных параметров модели.

Целью данного исследования является измерение распределения плотности во фронте УВ в близких условиях, в смеси He + Xe.

Исследования проведены в условиях, близких к условиям [1]. Отличие в том, что Mo(CO)₆ заменён на Xe, что значительно упрощало и ускоряло эксперименты: концентрация Xe = (0.1 – 1.0)%, равновесные температура и давление за фронтом УВ $T = (950 - 1150)$ К, $P = (0.4 - 0.6)$ атм.). Использованы газы высокой чистоты (99.9996%). Генератором УВ служила высоковакуумная ударная труба «Яшма» (100 мм калибр, 8 м длина камеры низкого давления, остаточное давление фонового газа менее $\sim 1.0 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст.).

Измерения изменения градиента плотности (ГП) (см. рис.1) выполнены усовершенствованным лазерным шлирен методом [3,4], пространственное разрешение 20 ± 1 мкм. Временное разрешение электронной схемы измерений не хуже 2 нс. He-Ne лазер генерировал зондирующий пучок ($\lambda = 632$ нм).

Основные соотношения метода:

$$\Delta I = f(\Delta n),$$

где ΔI – изменение интенсивности регистрируемого излучения, вызванного поворотом пучка света при прохождении сквозь среду с резким градиентом коэффициента преломления n , который в свою очередь является функцией от плотности вещества [3,4].

Типичные осциллограммы показаны на рис. 2. Видно, что сигнал имеет немонотонную форму, которая, по-видимому, отражает особенности распределения плотности в зоне поступательной релаксации УВ. Показаны осциллограммы, полученные в близких режимах (число Маха в диапазоне 2.7 ± 0.1) в смесях (0.1, 0.5, 1.0)% Xe в He. Хорошо видно, что начальный участок сигнала (отрезок 1-2) примерно 80 – 90 нс, на всех осциллограммах имеет одинаковый наклон.

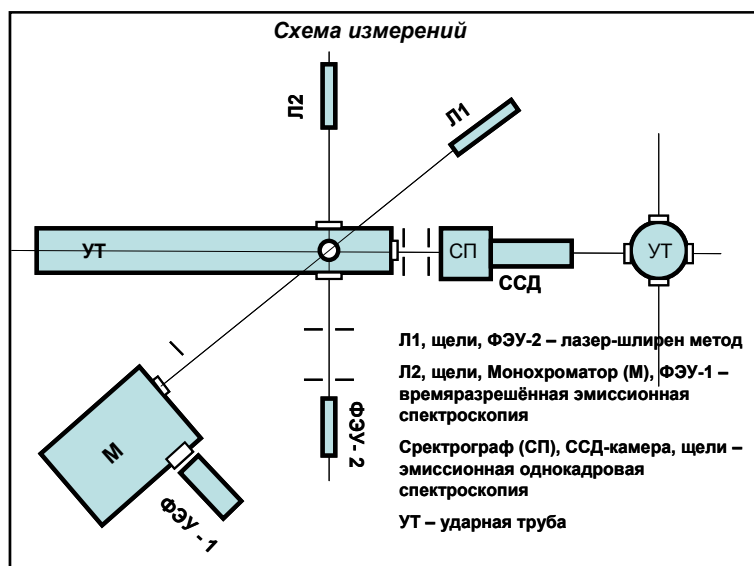


Рис.1. Схема измерений на высоковакуумной ударной трубе «Яшма».

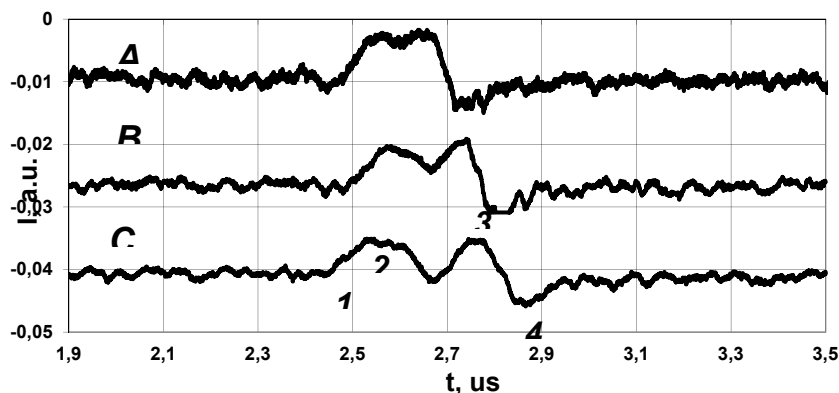


Рис.2. Типичные осциллограммы шлирен сигналов, полученные при числах Маха 2.7 ± 0.1 в чистом гелии (А), в смесях 0.5%Xe и 1.0%Xe в He (В) и (С) соответственно; 1,2,3,4 – характерные точки.

Далее форма сигналов становится выражено немонотонной (отрезок 2-3). В экспериментах с большими концентрациями ксенона наблюдается большая протяженность сигнала T (отрезок 1-4). Значения измеренных величин T в сопоставлены с концентрацией Хе на рис. 3. Хорошо видно, что в исследованном диапазоне концентраций тяжёлого газа эта зависимость имеет линейный характер и изменяется примерно от ~ 220 нс при $[Xe] = 0.1\%$ до ~ 450 нс при $[Xe] = 1.0\%$.

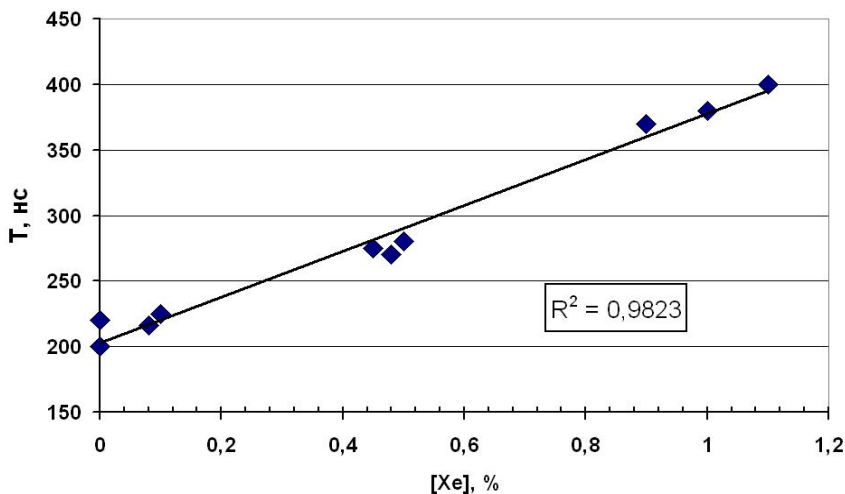


Рис.3. Зависимость протяженности зоны поступательной релаксации от концентрации Хе. Ромбы – измеренные в экспериментах величины, сплошная линия – линейная аппроксимация.

Одинаковый наклон начального участка шпирен сигнала (отрезок 1 – 2 на рис.2), по-видимому, связан с тем, что наибольший градиент плотности определяется лёгким газом Не, который и определяет радиус стрелы прогиба фронта УВ в пограничном слое на поверхностях иллюминаторов наблюдения [4].

Выводы: Впервые удалось экспериментально обнаружить зависимость параметров зоны поступательной релаксации УВ в лёгком несущем газе от концентрации малой примеси тяжелого газа. Установлено, что в исследованных режимах зависимость имеет линейный характер. Получены экспериментальные данные, позволяющие определить подгоночные параметры для численных моделей неравновесной функции распределения энергии парных соударений во фронте УВ.

Работа поддержана Грантом РФФИ - № 12-08-01266-а и Программой Президиума РАН – 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зиборов В.С., Ефремов В.П., Фортвов В.Е. Эффект ионизации во фронте слабой ударной волны, распространяющейся в инертном газе, разбавленном малой концентрацией $\text{Mo}(\text{CO})_6$ // Письма в ЖЭТФ, 20076 Т. 86, №3, с. 211-215.
2. Ziborov V.S., Efremov V.P., Shumova V.V., Fortov V.E. The structure of shock wave front in helium containing the small concentration of the heavy molecules $\text{Mo}(\text{CO})_6$ // ISIS -18, Proc., Rouen 2008 pp. 165-169
3. Зиборов В.С. Методы и техника исследования ударных волн и плазмы за ударными волнами // Энциклопедия низкотемпературной плазмы под ред. Колесникова В.Н., Москва, ЯНУС-К, 2006, стр.88-135
4. Kiefer J., in Shock Waves in Chemistry, Ed. by A. Lifshitz (Marcel Dekker, New York, 1981), p. 219

УДК 681.883.7

Д.А. Евсевичев, О.В. Максимова, С.М. Максимов
Ульяновский государственный технический университет

**МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ
ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ**

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы выбора и применения метода синтеза тонкопленочного электролюминесцентного индикатора. Авторским коллективом изучены методы параметрического синтеза и структурно-параметрического синтеза тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов. Проведенное сравнение методов синтеза тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов позволил выделить структурно-параметрический синтез как наиболее эффективный, благодаря простоте формализации и возможности поиска оптимального проектного решения с непосредственным оперированием в процессе поиска структурой и параметрами устройства.

Ключевые слова: тонкие пленки, электролюминесценция, индикатор, проектирование, синтез.