

Хроматическая поляризация в твердом параводороде с примесью аргона предельно малой концентрации

© Н.Н. Жолонко

Черкасский национальный университет им. Богдана Хмельницкого,
Черкассы, Украина

E-mail: zholonko@yahoo.com

(Поступила в Редакцию в окончательном виде 3 июня 2010 г.)

Описан наблюдавшийся в образцах, приготовляемых для исследования теплопроводности слабых твердых растворов $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ar}_x$, эффект хроматической поляризации. Объемные цилиндрические образцы выращивались в ампуле из молибденового стекла десублимацией, после чего производился контроль их качества в поляризованном свете. В отличие от слабых твердых растворов $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ne}_x$ с тяжелой квазиизотопической примесью неона на образцах с аргоном при тех же концентрациях (миллионные части) наблюдались наклонные хроматизированные полосы, что связывается с возникновением после охлаждения до температур жидкого гелия упругих механических напряжений.

Большинство оптически изотропных тел вследствие внешних воздействий становятся анизотропными. Такими воздействиями являются внешние механические деформации, внутренние напряжения, возникающие вследствие неравномерного нагревания или теплового расширения, а также облучение. Например, известны случаи, когда весьма слабые воздействия при течении жидких или достаточно пластических твердых тел с сильно анизотропными элементами оказывались достаточными для создания искусственной анизотропии с двулучепреломлением [1]. При этом направление сжатия (или растяжения) среды становится выделенным и играет роль оптической оси, а разность показателей преломления n_e (вдоль оси) и n_o (поперек оси) становится максимальной и служит мерой анизотропии.

Исследования показывают, что разность $n_e - n_o$ пропорциональна величине напряжения и сильно зависит от длины волны (дисперсия двулучепреломления). Поэтому анизотропное тело в скрещенных поляризаторах оказывается пестро окрашенным в естественном свете, что является весьма чувствительным качественным признаком распределения напряжений.

В исследованиях теплопроводности объемных образцов твердого параводорода [2] и его слабых растворов $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ne}_x$ [3,4], $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ar}_x$ [5] контроль их качества проводился визуально в поляризованном свете. Для этого излучение лампы накаливания предварительно пропускали через поляроидную пленку (см. рисунок), после чего он проходил ампулу с образцом и анализатор. Это позволяло проверить выращенный образец на зернистость, поскольку ориентация его отдельных монокристаллических блоков оказывалась различной. В тщательно выращенных образцах чистого параводорода (остаточная концентрация ортокомпоненты 0.2%) выявляли всего несколько блоков, в то время как для примесных образцов наблюдалось незначительное увеличение числа включений, особенно в нижней и верхней частях ампулы. Кристаллы выращивались в стеклянной ампуле с внутренним диаметром 7 mm и длиной 75 mm.

Ошибка в определении примесной концентрации в исходной газовой смеси для исследованных образцов не превышала 15%.

Благодаря возможности высокой очистки водорода палладиевым фильтром (не хуже $10^{-6}\%$) и другим предосторожностям [4] для десублимированных из газа беспримесных образцов (температура выращивания ниже 13.8 K) удалось получить теплопроводность в

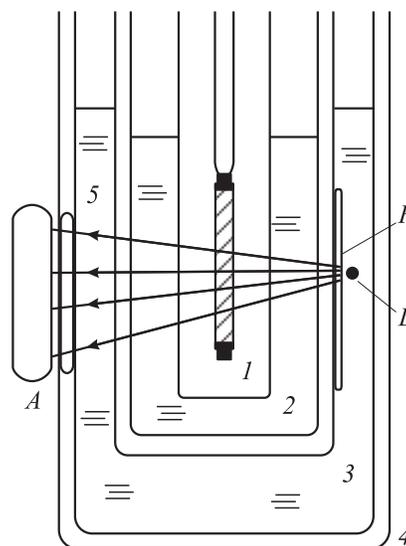


Схема контроля качества образца в поляризованном свете (датчики, хладопроводы, капиллярные трубки, управляющие элементы для стабилизации температуры и измерения теплопроводности образца не показаны). 1 — ампула с образцом, 2 — стеклянная вакуумная „рубашка“, 3 — гелиевый сосуд Дьюара (стекло), 4 — сосуд Дьюара с жидким азотом (металл), 5 — окно в азотном сосуде Дьюара, L — лампа накаливания, F — поляроидная пленка, A — анализатор поляризованного света, прошедшего через стекла, жидкости и твердый образец. Медный экран, прикрывающий вакуумную „рубашку“ во время измерений теплопроводности и поднимающийся при визуальном контроле, не показан.

максимуме $1000 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, а после переплавки — даже до $2000 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, что свидетельствует о чрезвычайно высоком качестве этих диэлектрических кристаллов. Добавление квазиизотопической примеси Ne (размер атома неона и потенциалы взаимодействия близки молекулам H_2) с концентрациями x порядка $10^{-4}\%$ привело к падению максимума теплопроводности слабого раствора более чем на полтора порядка. При этом заметного ухудшения качества образцов в поляризованном свете не наблюдалось.

Ранее было показано [6], что растворимость неона в параводороде существенно выше концентраций $10^{-4}\%$ и составляет величину порядка $10^{-2}\%$. На столь слабых концентрациях выращенные из расплава или десублимацией образцы $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ne}_x$ действительно имели одну и ту же температурную зависимость теплопроводности. Однако наблюдение в поляризованном свете при температурах жидкого гелия выращенных из газа десублимацией образцов твердого водорода с примесью Ag при тех же концентрациях примеси привело к интересному и несколько неожиданному результату: вдоль оси ампулы под углом примерно 60° после охлаждения образца в поле зрения анализатора наблюдалась хроматизированная система прямых полос.

Поскольку источник света находился внутри криостата и должен был быть достаточно слабым, а свет проходил кроме образца и стеклянной ампулы сквозь жидкие азот и гелий, хроматизация полос проявлялась также относительно слабо. Тем не менее появление системы хроматизированных полос все же можно было наблюдать отчетливо, и качественное изменение видимой картины образца после замены примеси неона примесью аргона оказалось вполне заметным. В связи с этим следует отметить, что в отличие от неона еще более тяжелая примесь аргона в твердом водороде уже не является квазиизотопической, поскольку ее потенциалы взаимодействия и размеры значительно отличаются от молекулы водорода. Поэтому обнаруженный эффект хроматической поляризации, хорошо известный для анизотропно напряженных образцов [7], можно связать именно с этим обстоятельством. Однако в таких низкотемпературных структурах, как молекулярные кристаллы, он, по-видимому, ранее еще не наблюдался. Таким образом, хроматизация поляризованного света напряженным образцом твердого водорода с примесью аргона — достаточно интересное явление, заслуживающее отдельного рассмотрения.

Растворимость аргона в твердом водороде в отличие от примеси неона оказывается очень малой и фактически до сих пор неизвестна [8,9]. Так, например, выращенные из газа образцы $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ar}_x$ при $x = 1.3 \cdot 10^{-6}\%$, а также при $x = 4.6 \cdot 10^{-6}\%$ обнаружили сходный с $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ne}_x$ примесный эффект, хотя и значительно более слабый. Последнее нашло свое объяснение в работах [5,10] и свидетельствовало об отсутствии распада слабого твердого раствора аргона в параводороде. При этом можно отметить, что после переплавки этих образцов кривые теплопроводности для вновь выращенных

уже из расплава образцов лишь немного различались, сохраняя характер примесной аномалии (резонансная яма в максимуме теплопроводности). Однако для существенно больших концентраций (в десятки раз) кривые теплопроводности образцов, выращенных как десублимацией, так и из жидкости, были больше похожими на кривые теплопроводности чистого водорода, поскольку на них отсутствовала примесная аномалия [8].

Таким образом, в настоящее время вопрос о фазовой диаграмме равновесного твердого раствора $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ar}_x$ остается открытым. Однако изложенное выше позволяет сделать вывод о значительно больших, чем в $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ne}_x$, упругих напряжениях в случае примеси аргона. Они накапливались в десублимированном твердом $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ar}_x$ при снижении температуры от температур выращивания десублимацией до температур исследования теплопроводности ($1.5\text{--}6 \text{ K}$), что и могло вызвать эффект хроматической поляризации подобно тому, как это имеет место в других напряженных анизотропных средах при обычных температурах [7].

Подводя итоги, можно утверждать, что оптические наблюдения в поляризованном свете слабых твердых растворов $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ar}_x$ при $x \geq 10^{-6}$ после их выращивания непосредственно из газовой фазы и снижения температуры примерно в 3 раза позволили выявить эффект хроматической поляризации. Он возник вследствие накопления примесных механических напряжений в объемном образце вследствие анизотропного сжатия. При этом важно, что результаты измерения теплопроводности косвенно свидетельствуют об отсутствии распада твердого раствора, несмотря на предельно малую растворимость аргона в параводороде. Аргументом в пользу этого является то обстоятельство, что, как и для слабых растворов $(p\text{-H}_2)_{1-x}\text{Ne}_x$ с теми же концентрациями, здесь также наблюдалась примесная аномалия резонансного типа, хотя и более слабая.

Список литературы

- [1] Г.С. Ландсберг. Оптика. Наука, М. (1976). 927 с.
- [2] Н.Н. Жолонко, Б.Я. Городилов, А.И. Кривчиков. Письма в ЖЭТФ **55**, 174 (1992).
- [3] Б.Я. Городилов, О.А. Королюк, Н.Н. Жолонко, А.М. Толкачев, А. Ежовски, Е.Ю. Беляев. ФНТ **17**, 266 (1991).
- [4] Т.Н. Анцыгина, Б.Я. Городилов, Н.Н. Жолонко, А.И. Кривчиков, В.Г. Манжеллий, В.А. Слюсарев. ФНТ **18**, 417 (1992).
- [5] Б.Я. Городилов, А.И. Кривчиков, В.Г. Манжеллий, Н.Н. Жолонко. ФНТ **20**, 78 (1994).
- [6] Б.Я. Городилов, А.И. Кривчиков, В.Г. Манжеллий, Н.Н. Жолонко, О.А. Королюк, ФНТ **21**, 723 (1995).
- [7] В.И. Савченко. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений. В кн.: Физическая энциклопедия. Большая российская энциклопедия, М. (1994). Т. 4. 704 с.
- [8] Н.Н. Жолонко. Автореф. канд. дис. ФТНТ НАН України, Харків (1992).
- [9] Б.Я. Городилов. Автореф. докт. дис. ФТНТ НАН України, Харків (2005).
- [10] Т.Н. Анцыгина, В.А. Слюсарев. ФНТ **19**, 494 (1993).