Вісник ХНУ, № 915, серія «Фізика», вип. 14, 2010. с.76 – 78

УДК 535; 539.2
PACS: 42.25.Ja, 42.87.-d, 44.10.+i

# Хроматическая поляризация в твёрдом параводороде с примесью аргона предельно малой концентрации

Н.Н. Жолонко

*Черкасский национальный университет*
*им. Богдана Хмельницкого, бульв. Шевченко, 81,*
*Украина, 18031, г. Черкассы*
*E-mail: zholonko@yahoo.com*

Описан наблюдавшийся в образцах, приготовляемых для исследования теплопроводности слабых твёрдых растворов $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$, эффект хроматической поляризации. Объёмные цилиндрические образцы выращивались в ампуле из молибденового стекла десублимацией, после чего производился контроль их качества в поляризованном свете. В отличие от слабых твёрдых растворов $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$ с тяжёлой 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.

**Ключевые слова:** поляризация, твёрдый раствор, упругие механические напряжения.

Описаний ефект хроматичної поляризації, який спостерігався в зразках, підготовлених для досліджень теплопровідності слабких твердих розчинів $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$. Об′ємні циліндричні зразки вирощували в ампулі з молібденового скла десублімацією, після чого проводився контроль їх якості в поляризованому світлі. На відміну від слабких твердих розчинів $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$ з важкою квазіізотопічною домішкою неону, на зразках з аргоном при тих же концентраціях (мільйонні частки) спостерігались похилі хроматизовані смуги, що пов′язується з виникненням після охолодження до температур рідкого гелію механічних напруг.

**Ключові слова:** поляризація, твердий розчин, пружні механічні напруги.

Chromatic polarization effect in the weak solid solutions $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$ while preparing for thermal conductivity study was described. The volume cilinder samples where grown in molibden glass tube. The sample's quality was determined from observations in polarized light. In contrast to weak solid solutions $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$ with neon heavy impurity, the samples with same argon consentrations (parts per million) demonstrate the sloped chromatized bands. This work connects it with the strong elastic stresses which occur after cooling to liquid helium temperatures.

**Keywords:** polarization, solid solutions, strong elastic stresses.

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 твёрдых 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 $n_o$ (поперёк 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 скрещённых поляризаторах оказывается пёстро окрашенным в естественном свете, что является весьма чувствительным качественным признаком распределения напряжений.

В исследованиях теплопроводности объёмных образцов твёрдого параводорода [2] и его слабых растворов $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$ [3,4], $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$ [5] контроль их качества проводился визуально в поляризованном свете. Для этого излучение лампы накаливания предварительно пропускали через поляроидную плёнку (рис.1), 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

© Н.Н. Жолонко, 2010

(остаточная концентрация ортокомпоненты - 0,2 %) выявляли всего несколько блоков, в то время как для примесных образцов наблюдалось несколько большее число 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 %.

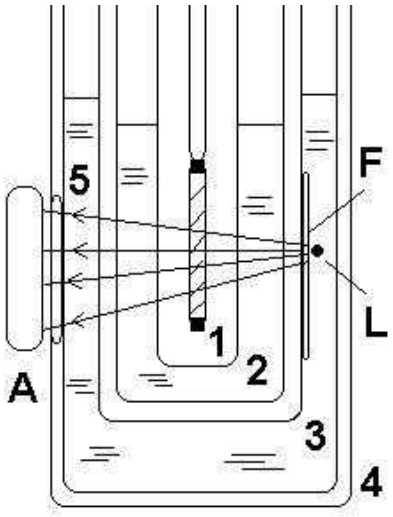


*Рис.1.* Схема контроля качества образца в поляризованном свете (датчики, хладопроводы, капиллярные трубки, управляющие элементы для стабилизации температуры и измерения теплопроводности образца не показаны): 1 – ампула с образцом, 2 – стеклянная вакуумная рубашка, 3 – гелиевый сосуд Дьюара (стекло),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

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 максимуме 1000 W/(m·K), а после переплавки – даже до 2000 W/(m·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 концентрацией $1{\cdot}10^{-4}$ % приводило к падению максимума теплопроводности слабого раствора более, чем на полтора порядка. При этом заметного ухудшения качества образцов после добавления примеси в поляризованом свете не наблюдалось.

Ранее было показано [6], что растворимость неона в параводороде существенно выше концентрации $1{\cdot}10^{-4}$ % и составляет величину, примерно равную $5{\cdot}10^{-2}$ % . На столь слабых концентрациях выращенные из расплава или десублимацией образцы $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$ действительно имели одну и ту же температурную зависимость теплопроводности. Однако наблюдение в поляризованном свете при температурах жидкого гелия выращенных из газа десублимацией образцов твёрдого водорода с примесью Ar при концентрации примеси $4{,}6{\cdot}10^{-4}$ % привело к интересному и несколько неожиданному результату: вдоль оси ампулы 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, то хроматизация полос проявлялась также относительно слабо. Тем не менее, появление системы хроматизированных полос все же можно было наблюдать отчётливо 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 ещё более тяжёлая примесь аргона в твёрдом водороде уже не является квазиизотопической, поскольку её потенциалы взаимодействия и размеры значительно отличаются от молекулы водорода. Поэтому обнаруженный эффект хроматической поляризации, хорошо известный для анизотропно напряжённых образцов [7], можно связать именно с этим обстоятельством. Однако, в таких низкотемпературных структурах как молекулярные кристаллы он, по-видимому, ранее ещё не наблюдался. Таким образом, хроматизация поляризованного света напряжённым образцом твёрдого водорода с примесью аргона – достаточно интересное явление, заслуживающее отдельного рассмотрения.

Растворимость аргона в твёрдом водороде в отличие от примеси неона оказывается очень малой и фактически до сих пор неизвестна [8,9]. Так, например, выращенные из газа образцы $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$ при $x = 1{,}3{\cdot}10^{-4}$ %, а также при $x = 4{,}6{\cdot}10^{-4}$ %, обнаружили сходный с $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$ примесный эффект, хотя и значительно более слабый. Последнее нашло своё объяснение в работах [5, 10] и свидетельствовало об отсутствии распада слабого твёрдого раствора аргона в параводороде. При этом можно отметить, что после переплавки этих образцов кривые теплопроводности для вновь выращенных уже из расплава образцов лишь немного отличались, сохраняя характер примесной аномалии (резонансная яма в максимуме теплопроводности). Однако для существенно бóльших 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, вопрос о фазовой диаграмме равновесного твёрдого раствора $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$ пока остаётся открытым.

Однако, изложенное выше позволяет сделать вывод о значительно бóльших, чем в $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$, упругих напряжениях в случае примеси аргона. Они накапливались в десублимированном твёрдом $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$ при снижении температуры от температур выращивания десублимацией до температур исследования теплопроводности (1,5 ÷ 6 К), что и могло вызвать эффект хроматической поляризации подобно тому, как это имеет место в других напряжённых анизотропных средах при обычных температурах [7].

Подводя итоги, можно утверждать, что оптические наблюдения в поляризованном свете слабых твёрдых растворов $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ar_x$ при $x \geq 10^{-4}$ % после их выращивания непосредственно из газовой фазы и снижения температуры примерно в три раза позволили выявить эффект хроматической поляризации. Он возник вследствие накопления примесных механических напряжений в объёмном образце вследствие анизотропного сжатия. При этом важно, что результаты измерения теплопроводности косвенно свидетельствуют об отсутствии распада твёрдого раствора, несмотря на предельно малую растворимость аргона в параводороде. Аргументом в пользу этого является то обстоятельство, что, как и для слабых растворов $(p\text{-}H_2)_{1-x}Ne_x$ с теми же концентрациями тяжёлой примеси, в теплопроводности здесь также наблюдалась примесная аномалия резонансного типа, хотя и более слабая.


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. Толкачёв, А. Ежовски, Е.Ю. Беляев. ФНТ, **17**, 266 (1991).
4. Т.Н. Анцыгина, Б.Я. Городилов, Н.Н. Жолонко, А.И. Кривчиков, В.Г. Манжелий, В.А. Слюсарев. ФНТ, **18**, 417 (1992).
5. Б.Я. Городилов, А.И. Кривчиков, В.Г. Манжелий, Н.Н. Жолонко. ФНТ, **20**, 78 (1994).
6. Б.Я. Городилов, А.И. Кривчиков, В.Г. Манжелий, Н.Н. Жолонко, О.А. Королюк. ФНТ, **21**, 723 (1995).
7. В.И. Савченко. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений. Физическая Энциклопедия в 5-и томах, том 4. Большая Российская Энциклопедия, М, 704 с. (1994).
8. Н.Н. Жолонко. Автореф. канд. дис. ФТІНТ НАН України, Харків, 15 с. (1992).
9. Б.Я. Городилов. Автореф. докт. дис. ФТІНТ НАН України, Харків, 34 с. (2005).
10. Т.Н. Анцыгина, В.А. Слюсарев. ФНТ, **19**, 494 (1993).