

Полученные в результате настоящей работы данные, по мнению авторов, могут быть использованы для предварительных количественных оценок хода твердофазных химических реакций при ударном сжатии с серой в качестве одного из компонентов. Вместе с тем проделанная работа выявила сложную картину излучения серы, реализующуюся при ударном сжатии. Такая картина, а также противоречивость имеющихся на сегодняшний день данных по ударному сжатию серы (это наглядно видно на рис. 2) соответствуют, с одной стороны, сложному поведению серы вблизи нормальных условий, а с другой стороны, объясняется сильным влиянием ее начальных параметров, таких как плотность и структура (прессованная, литая, кристаллическая) — для образцов твердой серы, и температуры — для жидкой, на реализующееся в результате ударного сжатия состояние.

Авторы выражают признательность С. М. Гаврилкину за участие в проведении ряда экспериментов.

Список литературы

- [1] Тонков Е. Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении. М., 1979. 192 с.
- [2] Вережагин Л. В., Яковлев Е. Н., Виноградов В. В., Сакун В. П. // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20. Вып. 8. С. 540—542.
- [3] Dunn K. J., Bundy F. P. // J. Chem. Phys. 1977. Vol. 67. N 11. P. 5048—5053.
- [4] Chhabildas L. S., Ruff A. L. // J. Chem. Phys. 1977. Vol. 66. N 3. P. 983—985.
- [5] Яковлев Е. Н., Степанов Г. Н., Тимофеев Ю. А., Виноградов В. В. // Письма в ЖЭТФ. 1978. Т. 28. Вып. 6. С. 369—371.
- [6] David H. G., Hamann E. D. // J. Chem. Phys. 1958. Vol. 28. N 5. P. 1006.
- [7] Joigneau S., Thouvenin J. // Comp. Rend. 1958. Vol. 246. N 23. P. 3422—3425.
- [8] Berger J., Joigneau S., Bottet G. // Comp. Rend. 1960. Vol. 250. N 26. P. 4331—4335.
- [9] Постнов В. И. Канд. дис. Черноголовка, 1986. 142 с.
- [10] Бацанов С. С. // Хим. физика. 1987. Т. 6. № 11. С. 1576—1582.
- [11] Бацанов С. С., Доронин Г. С., Клочков С. В., Теуд А. И. // ФГВ. 1986. Т. 22. № 6. С. 134—137.
- [12] Гоголя М. Ф., Воскобойников И. М., Долгобородов А. Ю. и др. // Хим. физика. 1991. Т. 10. № 3. С. 429—431.
- [13] March S. P. University of California Press. Berkeley (California), 1980.
- [14] Mellor J. W. A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry. Vol. X. London; New York; Toronto, 1930. 958 p.
- [15] Лекае В. М., Елкин Л. М. Физико-химические и термодинамические константы элементарной серы. М., 1964. 121 с.
- [16] Slykhouse T. E., Drickamer H. G. // J. Phys. Chem. Sol. 1958. Vol. 7. N 2/3. P. 275.
- [17] Peansky M. J., Jurgensen C. W., Drickamer H. G. // J. Chem. Phys. 1984. Vol. 81. N 12. Pt II. P. 6407—6408.

Институт химической физики
им. Н.Н.Семенова РАН
Москва

Поступило в Редакцию
11 марта 1991 г.

07

Журнал технической физики, т. 62, в. 3, 1992

© 1992 г.

ВИНТОВЫЕ ДИСЛОКАЦИИ КАК ФАЗОВЫЕ ДЕФЕКТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТЕА СО₂ ЛАЗЕРА

Б. Д. Бобров, Г. Ю. Снежков

Технологическим СО₂ лазерам свойственны высокие плотности потока излучения, что является причиной многочисленных эффектов, оказывающих заметное влияние на выходные характеристики лазерного пучка [1]. Совместно с газодинамическими неоднородностями и флуктуациями плотности активной среды, неоднородностями разряда ответственность за нестабильность характеристик пучка несут также самовоздействие, термодформации зеркал и прозрачных элементов,

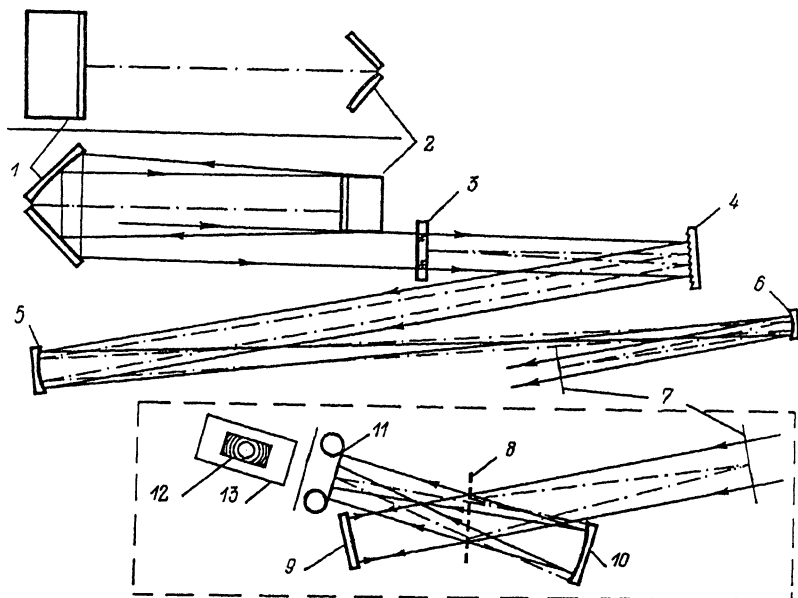


Рис. 1. Оптическая схема экспериментов.

Лазерный резонатор представлен в двух проекциях, а устройство для получения азимутально-радиальных сдвиговых интерферограмм — в нижней части рисунка; 1, 2 — двугранные угловые отражатели неустойчивого резонатора; 3 — выходное окно разрядной камеры; 4 — охлаждаемая дифракционная решетка; 5, 6 — вогнутые сферические зеркала телескопической системы, согласующей размеры апертуры пучка и интерферометра; 7 — плоскость действительного изображения ближней зоны лазерного излучения; 8—10 — светодетектор, плоское и вогнутое зеркала интерферометра радиально-вращательного сдвига; 11 — плоскость регистрации интерферограмм, оптически сопряженная с плоскостью 7; 12 — сечение меньшего (исследуемого) интерферирующего волнового фронта (картина имеет круговую структуру линий) в плоскости 11; 13 — сечение большего (опорного) волнового фронта. Дифракционная решетка 4 в данных экспериментах играет роль ослабителя пучка, поскольку для работы использовалось излучение, отраженное во 2-м порядке.

помещенных в оптический тракт [2, 3]. В совокупности они способны приводить к сильной пространственной модуляции поля излучения. В итоге лазерный пучок на выходе из резонатора несет структуру, сходную со спекл-структурой, приобретаемой пучком в процессе распространения в неоднородных средах, атмосфере или при отражении от объектов с грубой поверхностью.

Цель данной работы — показать, что данное сходство не ограничивается внешней стороной. Кроме амплитудной модуляции пучок технологического лазера уже при формировании в резонаторе может приобретать винтовые дислокации — фазовые дефекты с нетривиальной топологией, характерные для спекл-полей [4].

Эксперименты проводились с лазером, активный объем которого составлял $10 \times 10 \times 100$ см. Конструкция разрядной камеры аналогична описанной в [5], а система энергоснабжения — в [6]. Исследуемый лазер имел контур газообмена, обеспечивающий проток рабочей смеси $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ (соотношение компонентов 1:1:6 при общем давлении 1 атм) со скоростью 15—30 м/с. Система энергоснабжения состояла из электронной пушки с энергией частиц 200 кэВ и силового источника, обеспечивающего электрический разряд в среде. Общая энергия накачки составляла 1.5—2.0 кДж/импульс. Система накачки позволяла формировать генерацию в виде цуга повторяющихся импульсов с периодом $T \approx 10^{-1}$ с. Длительность накачки составляла 20 мкс, генерация — 14...16 мкс, а энергия в импульсе примерно 70 Дж.

В работе использован неустойчивый телескопический резонатор с вращением поля [7] (коэффициент увеличения 1.6, база 1.85 м), образованный парой

двугранных угловых отражателей, установленных в разрядной камере вне газового потока. Один из них составляли неохлаждаемые плоское и выпуклое сферическое зеркало из циркониевой бронзы, а другой — плоское и вогнутое. Ребра отражателей, ортогональные оси резонатора, были взаимно развернуты на 90° , обеспечивая поворот пучка как целого на 180° вокруг оси при обходе резонатора. Пучок прямоугольного сечения 90×45 мм выводился из камеры через окно размером 11×11 см, изготовленное из KCl.

Диагностика фазовых искажений осуществлялась по методу интерферометрии радиально-азимутального сдвига, согласно схеме, представленной на рис. 1. Из него нетрудно видеть, что интерферограмма строилась путем суперпозиции исследуемого (сигнального) пучка и опорного, формировавшегося из сигнального путем расфокусировки и поворота вокруг оси. Интерферограмма регистрировалась на фотопленке, экспонированной по методу тепловой сенсibilизации [8]. Следует отметить, что применение сдвиговых методов — вынужденная мера, поскольку речь идет о диагностике выходного излучения лазера. Амплитудная модуляция опорного пучка и его фазовые искажения влияют на качество интерферограммы. Значительные неудобства также вносит низкий динамический диапазон метода регистрации. Однако все эти факторы в данных экспериментах не играют принципиальной роли в силу качественного подхода к анализу искажений волнового фронта (ВФ).

На рис. 2 представлена подборка интерферограмм, которая дает представление об изменениях ВФ выходного пучка в процессе работы лазера в режиме повторяющихся импульсов. Каждая интерферограмма соответствует отдельному импульсу, а порядок их следования сохранен.

Эксперименты свидетельствуют о возможности самых разнообразных превращений интерференционной картины. Условно многообразие отдельных реализаций можно разделить на две общие группы, взяв за основу структурные свойства. К первой целесообразно отнести случаи, когда изменения связаны лишь с формой линий, но не затрагивают геометрию картины как целого. Интерферограммы такого типа приведены на рис. 2, а—в. Деформации колец здесь случайным образом меняются от импульса к импульсу и отображают деформации ВФ. Общим признаком является сохранение топологии картины и, как следствие, топологии ВФ интерферирующих пучков, а поэтому анализ искажений не выходит за рамки обычных абберационных методов. Этот простейший случай типичен для лазерных систем с достаточно высоким качеством элементов при условии, что уровень наведенных искажений, приобретаемых в процессе работы лазера, невелик. Вообще говоря, деформации растут по мере увеличения числа актов генерации, на рисунке это соответствует переходу от а к в.

Вторая группа охватывает весьма несхожие реализации, где структурные свойства картины отличаются от исходной, так как совокупность изолированных колец оказывается частично или полностью разрушенной из-за появления характерных У-образных ветвлений. Само присутствие ветвлений меняет симметрию исходной картины, делая неизбежным появление линий спирального типа. Однако их удается наблюдать лишь в том случае, когда возмущенное и прилегающие к нему кольца представлены на интерферограмме полностью. Это невозможно сделать, к примеру, на рис. 2, г, где ветвление попадает на периферийный участок, но легко проследить на двух последующих интерферограммах, где особенность локализована в пределах первого кольца. В частности, на рис. 2, д она практически совпадает с центром картины и ветвления как такового здесь нет. Участок правой спирали связывает центральную особенность с ближайшей в нижней части интерферограммы слева. На рис. 2, е такой же участок левой спирали берет начало от расщепленного первого кольца, но конечная точка на интерферограмме отсутствует, поскольку локализована вне апертуры. Отметим еще одну важную деталь. При классификации типов линии вблизи левой границы имеет место неопределенность: их в равной мере можно считать искаженными фрагментами как кольцевой, так и спиральной картины.

На рис. 2 интерферограммы отображают общую тенденцию качественного изменения свойств ВФ. В начале цуга импульсов они преимущественно кольцевые, а появление реализаций с особенностями, скорее, относится к исключениям. В

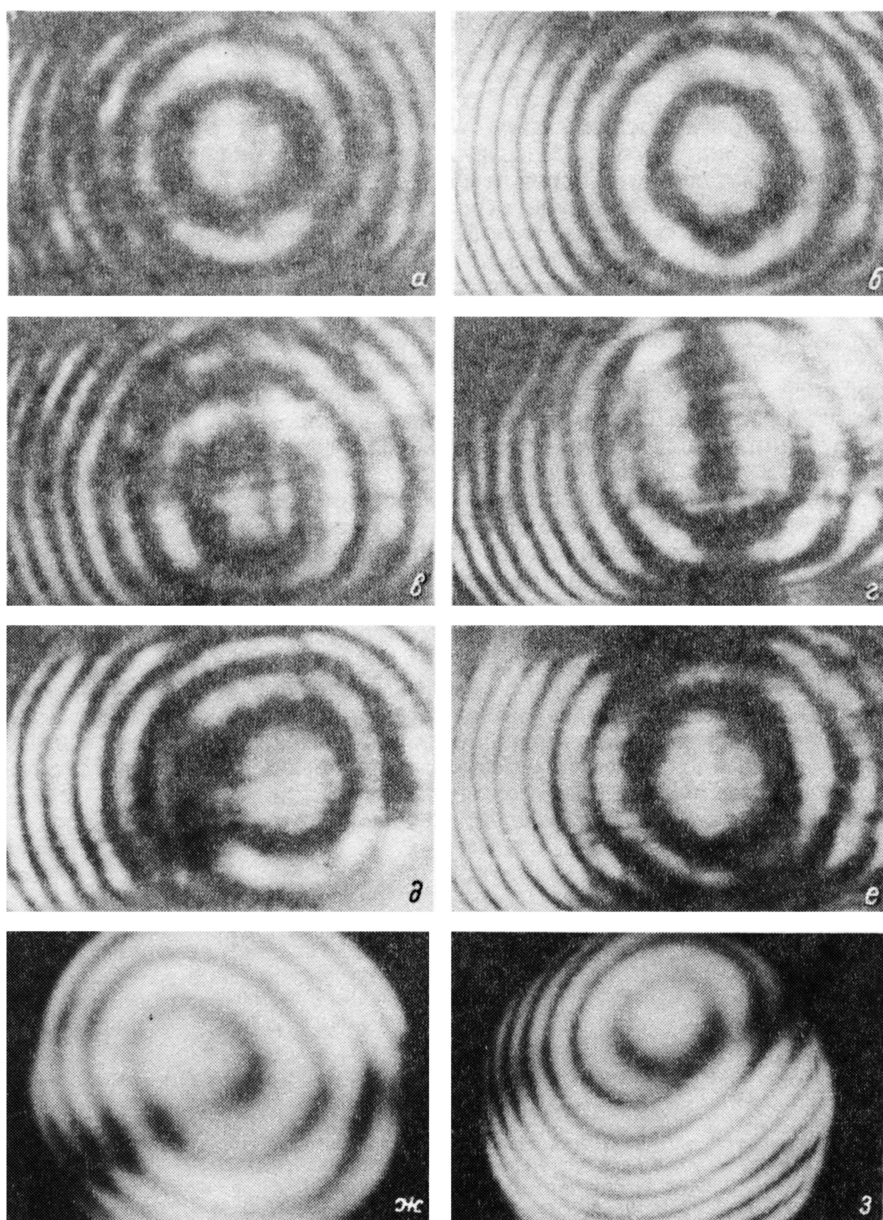


Рис. 2. Примеры интерферограмм радиально-азимутального сдвига (а—е) для исследуемого лазера ($\lambda = 10.6$ мкм) и интерферограмм Цендера—Маха для спекл-несущего пучка (He — Ne лазер, $\lambda = 0.63$ мкм), однотипные интерферограммы (д, е) соответственно.

ж, з содержат лишь три спекла; дислокация, локализованная в окрестностях центра картины, является началом спирального участка интерференционной линии, а его конечные точки находятся слева внизу (ж) и справа сверху (з).

дальнейшем ситуация становится обратной и кольцевые структуры появляются лишь при удачном стечении обстоятельств. Отмеченная закономерность свидетельствует о деградации оптического качества излучателя вследствие наведенных искажений. Локализация особых точек при этом меняется случайным образом, вероятность их попадания в окрестность центра картины невелика и спиральные интерферограммы центрального типа достаточно редки.

Следует отметить, что на всех интерферограммах присутствует хорошо разрешенная структура дифракционных максимумов, пространственные размеры которых много меньше характерного размера кольца. В то же время появление ветвлений непосредственно связано с более крупными (порядка размеров колец) образованиями с высокой плотностью излучения. Положение особых точек, вызывающих расщепление линии, всегда совпадает с провалами в интенсивности, т. е. с границами этих образований. На уровне дифракционной структуры аналогичных ветвлений обнаружить не удалось.

Перечисленные факты в совокупности позволяют утверждать, что У-образные ветвления свидетельствуют о появлении винтовых дислокаций (ВД) на волновом фронте. Действительно, расщепление линии обусловлено особыми свойствами ВФ на участке, прилегающем к особой точке. Согласно [9] ВФ меняется здесь как винтовая поверхность. Поскольку сингулярность не связана с геометрией картины, то расщепление кольца на рис. 2 не должно отличаться от расщепления полосы на интерферограммах линейного типа из работ [4, 10]. Наличие ВД в ближней зоне лазерного источника — экспериментальное свидетельство сходства топологии ВФ лазерного пучка и спекл-полей. Причем упоминавшиеся крупные образования с повышенной плотностью излучения играют роль спеклов. Учитывая, что регистрация осуществлялась непосредственно на выходе пучка из резонатора, можно заключить, что и фазовые искажения, и амплитудная модуляция приобретаются пучком в процессе формирования в резонаторе. В справедливости сказанного можно убедиться, сравнивая интерферограммы рис. 2, *д*, *е* и однотипные им на рис. 2, *ж*, *з*. Последние, однако, получены при диагностике спекл-несущих полей в другом спектральном диапазоне (He-Ne лазер, переход $\lambda = 6328 \text{ \AA}$) с гладким сферическим опорным пучком и не имеют пространственных “шумов” в виде дифракционной картины.

Таким образом, наличие сильных искажений в лазерном резонаторе способствует формированию выходного пучка, несущего спекл-структуру. С учетом выводов [4] данное обстоятельство ограничивает возможности повышения качества излучения методом линейной адаптивной оптики: использование адаптивных систем эффективно лишь в случае пучков, ВФ которых топологически эквивалентен сфере, но не пучков со случайно меняющейся топологией волнового фронта.

Список литературы

- [1] Голубев В. С., Лебедев В. Ф. // Квантовая электрон. 1985. Т. 12. № 4. С. 663—671.
- [2] Димаков С. А., Загороднева С. И., Ковальчук Л. В. и др. // Квантовая электрон. 1990. Т. 17. № 3. С. 291—295.
- [3] Цесник Л. С., Сорокин О. В., Золотухин А. А. Металлические зеркала. М.: Машиностроение, 1983. 225 с.
- [4] Баранова Н. Б., Зельдович Б. Я., Мамаев А. В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 33. Вып. 4. С. 206—210.
- [5] Глотов Е. П., Данилычев В. А., Чебуркин Н. В. // Тр. ФИАН им. П.Н.Лебедева. Т. 142. М.: Наука, 1983. С. 3—45.
- [6] Анисимова Т. Е., Аккуратов Е. В., Громовенко В. М. и др. // ПТЭ. 1985. № 2. С. 140.
- [7] Купренюк В. И., Шерстобитов В. Е. // Квантовая электрон. 1980. Т. 7. № 4. С. 787—794.
- [8] Ковалев В. И., Лесив А. Р., Файзуллоев Ф. С., Федоров В. Б. // ПТЭ. 1983. № 1. С. 149—151.
- [9] Structural Stability in Physics // Ed. W. Guttinger, H. Eikemeir. Berlin: Springer Verlag, 1979. 311 p.
- [10] Бобров Б. Д., Дмитриев Е. И. // Опт. и спектр. 1990. Т. 66. Вып. 2. С. 424—428.

Поступило в Редакцию
11 июня 1991 г.