

07; 11

РАЗМЕРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОРОГА ПЛАЗМООБРАЗОВАНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСОВ ИЗЛУЧЕНИЯ CO_2 ЛАЗЕРА НА ГРАНИЦЕ ПРОЗРАЧНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК - ВОДА

В.Н. Смирнов

Известно, что в большинстве случаев причиной инициирования плазмы оптического пробоя у поверхности прозрачного диэлектрика является сверхпороговый нагрев лазерным излучением поглощающих неоднородностей (ПН) поверхностного слоя образца [1], обеспечивающий вблизи поверхности необходимую для развития пробоя плотность паров или концентрацию затравочных электронов. Эта точка зрения, в частности, подтверждается инициированием пробоя в отдельных точках облучаемой мишени и наличием зависимости его порога от размера облучаемой области. Сказанное справедливо для широкого диапазона длин волн, в том числе и для излучения CO_2 лазера. О наличии размерной зависимости порога плазмообразования на $\lambda = 10.6$ мкм на поверхности NaCl сообщалось в [2, 3]. В пользу определяющей роли ПН в развитии пробоя свидетельствует также зависимость порога от амплитуды при развитии пробоя на фронте лазерного импульса [4].

Альтернативная точка зрения [5] сводится к тому, что при воздействии импульсов CO_2 лазера на поверхность материалов, прозрачных в ИК области спектра, плазмообразование обусловлено поглощением части энергии лазерного импульса в слое адсорбированной воды, испарением этого слоя и развитием пробоя в парах воды. При этом в [5] отмечалось, что порог оптического пробоя на поверхности NaCl не зависит от размера облучаемой области (в пределах области изменений диаметра эффективного пятна от 0.5 до 2.25 мм).

Между тем, при определяющей роли адсорбированной воды в инициировании плазмы под действием импульсов CO_2 лазера можно полагать, что размерная зависимость порога плазмообразованием тем более должна отсутствовать¹ на границе раздела прозрачный диэлектрик - вода. При справедливости первой точки зрения при наличии в поверхностном слое сильнопоглощающих неоднородностей размерная зависимость должна наблюдаться и в этих условиях. Цель настоящей работы состояла в сопоставлении результатов измерений порогов плазмообразования при различных размерах облучаемой области на поверхности кристалла, находящегося в контакте с воздухом, водой и другой жидкостью с коэффициентом погло-

¹ При этом устраняется возможность влияния неоднородностей слоя адсорбированной воды.

шения меньшим, чем у воды. Полученные экспериментальные данные, свидетельствуя не только о наличии размерной зависимости на границе диэлектрика с указанными средами, но и практически неизменной величине порога во всех средах при одном и том же значении размера облучаемой области, подтверждают точку зрения об определяющей роли ПН в иницировании плазмообразования.

Из материалов, широко используемых для изготовления оптических элементов CO_2 лазеров, для проведения исследований был выбран BaF_2 как более близкий по свойствам к щелочно-галлоидным кристаллам и доступный, например, по сравнению с ZnSe . Щелочно-галлоидные кристаллы не могли быть использованы из-за высокой растворимости в воде. Эксперименты проводились на установке, описанной в [4]. Из-за сильного поглощения лазерного излучения в воде воздействию лазерных импульсов подвергалась задняя поверхность пластины, находящаяся в контакте с жидкостью. Пластина располагалась горизонтально. Изменение размера облучаемой области осуществлялось путем смены линз. Минимальное фокусное расстояние выбиралось, исходя из удобств сборки оптической схемы и ее юстировки, максимальное — ограничивалось тем, что в слабо сходящихся пучках пробой даже при фокусировке излучения на заднюю поверхность образца в ряде случаев происходил на передней поверхности. Это имело место вопреки известным данным о соотношении порогов пробоя передней и задней поверхностей попластины прозрачного диэлектрика при воздействии коллимированного пучка [6]. Указанное различие порогов передней и задней поверхностей полированных пластин BaF_2 при использовавшихся длиннофокусных линзах перекрывалось заметным ослаблением излучения в объеме исследовавшихся образцов (пластин), пропускание которых составляло 0,6–0,8. В связи со сказанным, измерения порогов проводились лишь при двух значениях размера облучаемой области, при фокусировке излучения линзами с фокусными расстояниями $F = 150$ и 300 мм. При фокусировке излучения этими линзами в ходе исследований оптического пробоя на передней поверхности BaF_2 [7] размерная зависимость порога пробоя наблюдалась.

Порог плазмообразования q^* определялся первым из способов, использовавшихся в [4]. Диаметры облучавшихся областей на задней поверхности пластины не измерялись (при измерениях на воздухе в каустиках использовавшихся линз они составляли соответственно 0,12 и 0,25 мм). В связи с этим абсолютные значения порогов q^* не определялись. Для выяснения влияния жидкости на величину q^* помимо измерений на границе $\text{BaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ измерения проводились также на границе $\text{BaF}_2\text{-CCl}_4$. Состояние облучаемой области на поверхности образца в момент воздействия лазерного импульса контролировалось с помощью микроскопа МВС-2, с после измерений с помощью микроскопа ММР-2. Использовались CCl_4 (марки „X4“), водопроводная и дистиллированная вода. Чистота воды на величине q^* не сказывалась.

В жидкостях воздействие импульсов с интенсивностями $q \ll q^*$ приводило к появлению у поверхности пузырьков воздуха, а при воз-

	q^* , отн. ед.		[9]		K_2 Вт/см·град
	$F = 150$ мм	$F = 300$ мм	α	n	
Воздух	1.0 ± 0.1	0.7 ± 0.1			$2.4 \cdot 10^{-4}$
Вода	1.2 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.091	1.173	$5.6 \cdot 10^{-3}$
	1.1 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.012	1.159	$1.1 \cdot 10^{-3}$

растании q – к интенсивному парообразованию. Иницирование плазмы при $q > q^*$ как на воздухе, так и в жидкостях сопровождалось образованием на поверхности кристалла трещин по плоскостям спайности. Морфология областей растрескивания, обусловленных плазмообразованием, во всех случаях практически не различалась. Однако воздействие сверхпороговых импульсов излучения в жидкостях (особенно в воде) сопровождалось появлением вокруг областей повреждения, обусловленных оптическим пробоем, кольцевых зон повреждения, образованных отдельными трещинами по плоскостям спайности. Выяснено, что порог их образования в воде в 2–3 раза ниже q^* . Сходные системы трещин после воздействия импульсов излучения CO_2 лазера на границу $ZnSe-H_2O$ наблюдались на поверхности кристалла, где их образование связывалось с инициированием ударных волн в воде [8]. При этом считалось, что ударные волны являются единственной и определяющей причиной разрушения поверхности кристалла. В описываемых экспериментах в CCl_4 подобные системы трещин образовывались лишь при использовании линзы с $F = 300$ мм и $q \sim q^*$. Это может свидетельствовать о том, что ударные волны, по крайней мере, в CCl_4 инициировались очагом пробоя, причем энергия их при использовании более короткофокусной линзы была недостаточна для образования трещин. При $q < q^*$ наблюдались вспышки свечения с интенсивностью, существенно меньшей интенсивности свечения плазмы. Исследований допорогового свечения не проводилось. Можно предполагать, что оно обусловлено трибolumинесценцией при образовании трещин на поверхности BaF_2 при воздействии ударных волн.

Результаты измерений q^* на границах BaF_2 с воздухом, водой и CCl_4 при двух значениях диаметра облучаемой области приведены в таблице. Значения показателей поглощения α и преломления n воды на $\lambda = 10.6$ мкм заимствованы из работы [9]. При этом значение коэффициента поглощения $\alpha = 4\sqrt{\epsilon} / \lambda \alpha = 1100 \text{ см}^{-1}$ оказывается несколько выше $\alpha = 866 \text{ см}^{-1}$, приведенного в [8] и $\alpha = 1000 \text{ см}^{-1}$, использовавшегося в [5]. Значения α и n для CCl_4 [9] относятся к $\lambda = 12$ мкм.

Полученные данные указывают на сохранение размерной зависимости порога плазмообразования, наблюдаемой при измерениях на воздухе, и в условиях контакта кристалла с жидкостями. Это свидетельствует о том, что во всех случаях (в том числе и на границе BaF_2-H_2O) развитие оптического пробоя и величина его по-

рога определяются характеристиками ПН поверхностного слоя [10], а не наличием слоя адсорбированной воды или контакта с поглощающей жидкостью. Небольшой рост q^* в жидкостях по сравнению с q^* , измеренными на воздухе, может быть связан с двумя причинами. Во-первых, при измерениях на границе с жидкостями улучшаются условия теплообмена для ПН поверхностного слоя, нагреваемых лазерным излучением, из-за более высоких значений коэффициентов теплопроводности K жидкостей. Во-вторых, как следует из [6], на задней поверхности пластины прозрачного диэлектрика пробой развивается под действием суммарного электрического поля падающей и отраженной от поверхности волн. При этом, поскольку коэффициент отражения на границе с жидкостью ниже, чем на границе с воздухом, необходимо более высокое значение интенсивности излучения. Обе указанные причины ведут к росту значения q^* , соответствующего повышению температуры ПН до критического значения для развития оптического пробоя.

Таким образом, в настоящей работе экспериментально показано, что пороги плазмообразования под действием импульсов излучения CO_2 лазера на поверхности полированной пластины BaF_2 в условиях ее контакта с воздухом, водой и CCl_4 практически не отличаются, зависят от размера облучаемой области и, по-видимому, определяются характеристиками ПН поверхностного слоя, обусловленными технологиями выращивания кристалла [10] и обработки поверхности [3]. Можно предполагать, что отсутствие размерной зависимости порога плазмообразования на поверхности NaCl , наблюдавшееся в [5], связано с тем, что измерения проведены в интервале значений размеров облучаемой области, в котором в ее пределы заведомо попадала хотя бы одна ПН, характеристиками которых в условиях проведенных экспериментов определялась величина q^* .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бонч-Бруевич А.М., Диденко И.А., Капорский Л.Н. Низкопороговый оптический пробой газов вблизи поверхности. Препринт № 13 ИТМО АН БССР, Минск, 1985. 53 с.
- [2] Горбунов А.В. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. № 13. С. 792-795.
- [3] Смирнов В.Н. // ЖТФ. 1987. Т. 57. № 3. С. 523-529.
- [4] Бонч-Бруевич А.М., Смирнов В.Н. // ЖТФ. 1988. Т. 58. № 5.
- [5] Ковалев В.И. // Труды ФИАН. 1982. Т. 136. С. 51-117.
- [6] Boiling N.L., Crisp M.D., Dube G. // Appl. Opt. 1973. V. 12. N 4. P. 650-660.

- [7] Б о н ч-Б р у е в и ч А.М., С м и р н о в В.Н. // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 11. С. 2184-2189.
- [8] D a v i d s o n G.P., E m m o n y D.C. // Phil. Mag. A. 1980. V. 42. N 2. P. 249-255.
- [9] М и х а и л о в Б.А. Количественный спектральный анализ многокомпонентных систем в области интенсивных колебательных полос поглощения. Диссертация на соиск. уч. степени канд. физ.-мат. наук., Л.: ГОИ, 1973.
- [10] К а л у г и н а Т.И., К р у т я к о в а В.П., С м и р н о в В.Н. // ОМП. 1985. № 10. С. 34-35.

Поступило в Редакцию
18 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 13

12 июля 1989 г.

09

ЭВОЛЮЦИЯ СПЕКТРА МОЩНОСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СИСТЕМ СО СТОХАСТИЧЕСКИМ ПОВЕДЕНИЕМ

И.Н. А н т о н о в, Ю.В. Д я т л о в,
В.А. П у р ы н з и н

Неослабевающий в последние годы интерес к исследованиям динамических систем со стохастическим поведением стимулирует проведение как теоретических, так и экспериментальных работ, посвященных разностороннему изучению поведения таких систем в различных условиях. Естественным было бы предположить, что нелинейность таких систем, обуславливающая ее стохастическую динамику, окажет существенное влияние и на взаимодействие этой системы с близкой по параметрам, если только связь между ними будет достаточна велика.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования взаимодействия двух сильно связанных радиофизических систем СВЧ-диапазона со стохастическим поведением. Экспериментально изучить поведение стохастических автогенераторов в коротковолновой части СВЧ-диапазона в настоящее время возможно только на основе анализа спектров мощности [1]. Рассмотреть фазовые портреты, качественно описывающих работу таких устройств, можно лишь прибегнув к аналоговому либо математическому моделированию, которое значительно искажает характеристики описываемой системы из-за ее распределенного характера.

Поэтому, несмотря на то что именно спектры мощности представляют интерес для практического использования, их анализ не всегда позволяет однозначно трактовать наблюдаемые эффекты в терминах теории стохастических колебаний.