

ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ CO_2 -ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА НАКЛОННОЙ МИШЕНИ ПРИ НИЗКИХ ДАВЛЕНИЯХ ОСТАТОЧНОГО ГАЗА

Н.П. Дацкевич, Н.В. Карлов, Н.Н. Кононов, Г.П. Кузьмин, Г.Р. Токер

УДК 533.951

Методом двухэкспозиционной голографической интерферометрии исследованы характерные особенности взаимодействия мощного ($\sim 10^{11}$ Вт/см²) десятимикронного излучения с мишенью, помещенной в атмосферу остаточного газа. Для достаточно низких давлений газа удалось пространственно разрешить область ударной волны и волны ионизации.

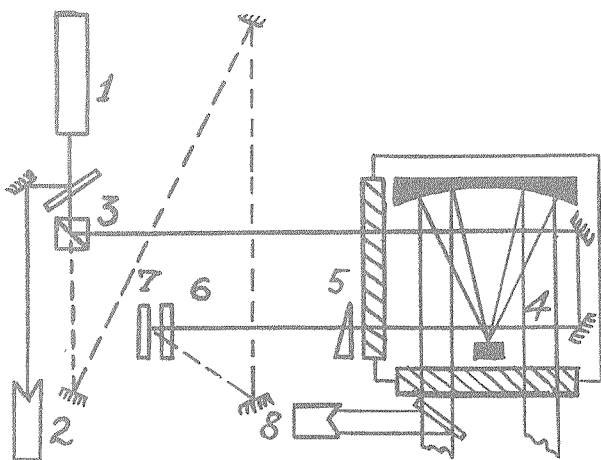
Интерес к взаимодействию мощного лазерного излучения с мишенью, помещенной в атмосферу остаточного газа, связан с выяснением механизма понижения порога пробоя газа вблизи мишени /1,2/ и механизма инициирования пробоя реальных газов в отсутствие мишени, поскольку оба механизма могут иметь одну и ту же природу /3,4/, благодаря присутствию в реальных газах аэрозолей /5,6/.

Как правило, диагностировалась лазерная плазма с мишени, разлетающаяся в вакуум /7/ и в атмосферу остаточного газа при давлении несколько десятков торр и выше. Исключения составляют работы /8,9/, где исследовался разлет лазерной (1,06 мкм и 0,6943 мкм) плазмы в атмосферу остаточного газа низкого давления (до нескольких торр).

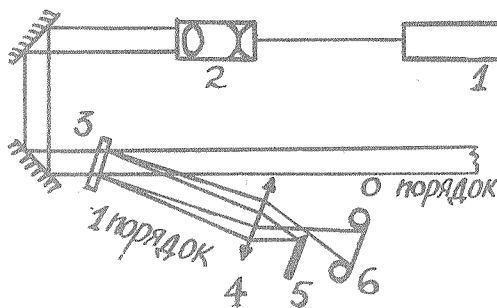
В работе /10/ было показано, что при высоких интенсивностях десятимикронного излучения ($\sim 10^{11}$ Вт/см²), когда разлетающиеся пары материала мишени создают ионизирующую ударную волну (ИУВ) в остаточном газе, эффективно работает механизм пробоя, обусловленный поглощением лазерного излучения непосредственно за фронтом ИУВ.

При этом возникают трудности с определением природы ионизационной области, особенно во время действия лазерного импульса. При относительно

высоких давлениях > 100 торр область ИУВ разрешить не удастся, поскольку за время действия лазерного импульса она не достигает заметного размера. Оптимальной с точки зрения пространственного разрешения ИУВ и волны ионизации является область давлений остаточного газа, примыкающая к по-



а)



б)

Р и с. 1. а) Схема экспериментальной установки: 1 - рубиновый лазер, 2 - приемник (0,6943 мкм), 3 - светоделительный кубик, 4 - мишень, 5 - клин, 6 - светофильтр, 7 - голограмма, 8 - приемник (10,6 мкм). б) Схема восстановления волнового фронта: 1 - гелий-неоновый лазер, 2 - коллиматор, 3 - голограмма, 4 - объектив, 5 - нож, 6 - фотопленка

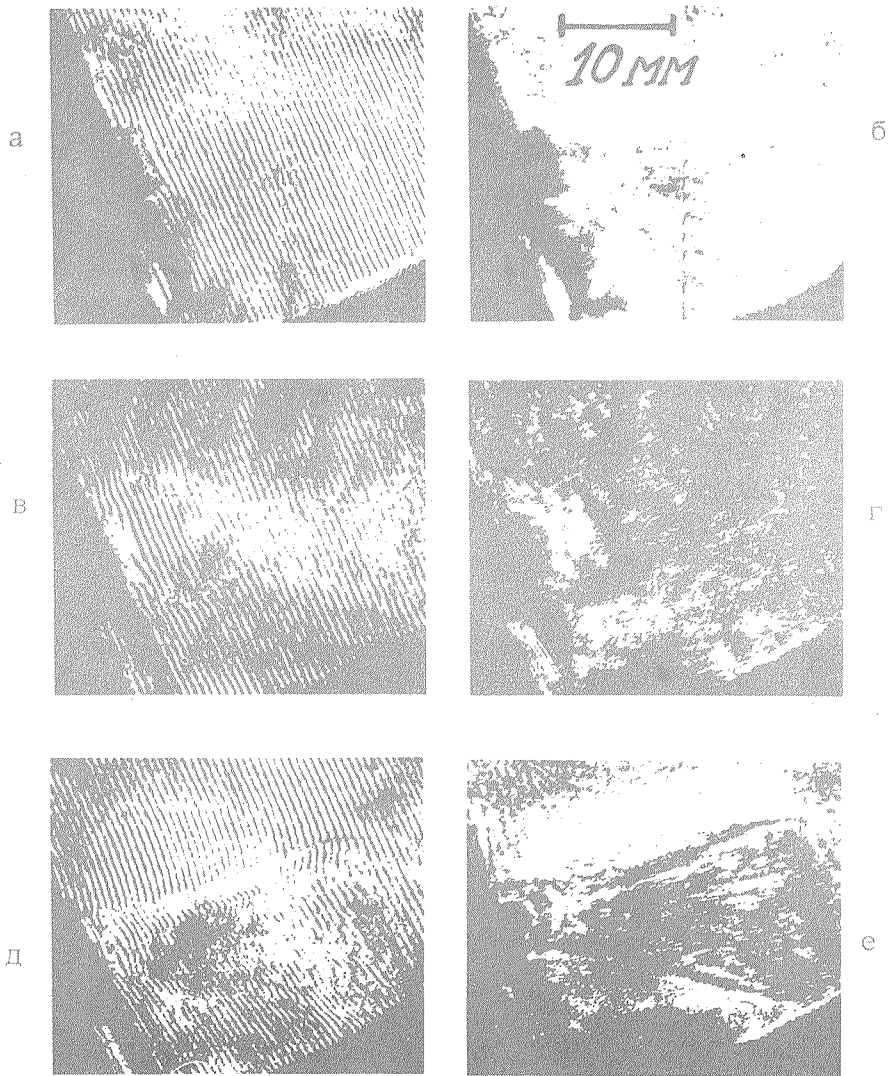
рогу пробоя по давлению при фиксированной интенсивности лазерного излучения.

Известно [8], что при острой фокусировке лазерного излучения на мишень разлет паров происходит симметрично относительно нормали к мишени, независимо от угла падения лазерного пучка, а волна ионизации движется навстречу лазерному излучению. В нашей работе угол падения лазерного излучения на алюминиевую мишень составлял $\sim 30^\circ$. Это делалось с целью разделения направлений распространения ИУВ и волны ионизации.

На рис. 1а представлена схема экспериментальной установки. Лазерный импульс имел общую длительность ~ 1 мкс с пикомом 150 нс [11]. В качестве источника диагностирующего излучения с длиной волны $\lambda = 6943 \text{ \AA}$ (чувствительность интерференционной методики $\sim 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ к изменению электронной плотности) использовался модифицированный многомодовый лазер ОГМ-20.

На рис. 1б представлена схема восстановления волнового фронта. Перекрывая ножом, находящимся вблизи фокальной плоскости объектива, одну из восстановленных предметных волн, можно получить прямую тенеграмму лазерной плазмы. Для получения голограммы использовалась фотоэмульсия высокого разрешения (≥ 1500 линий/мм), сенсibilизированная в красной области. Наличие высокоразрешающей эмульсии позволило сводить предметный и опорный пучки значительной апертуры (~ 70 мм) под большим ($\sim 0,5$ рад) углом на малых плечах, что диктовалось спецификой эксперимента.

На рис. 2а,б представлены интерферограмма и тенеграмма лазерной плазмы, полученные с одной голограммы при давлении остаточного газа (аргон) 10^2 торр. Наблюдается область плотной плазмы, непосредственно примыкающая к мишени ($n_e > 10^{18} \text{ см}^{-3}$; размер ~ 3 мм) с резким спадом электронной плотности в периферийных областях разлетающихся с мишени паров. Электронная плотность падает ниже 10^{16} см^{-3} на расстояниях ~ 6 мм от мишени. Хотя характерный размер плазмы ко времени регистрации составляет ~ 13 мм, фронт паров с мишени визуализировать не удается в силу недостаточной чувствительности интерференционной и теневой методик. При $p = 0,9$ торр фронт паров с мишени отчетливо наблюдается



Р и с. 2. Интерферограммы (а,в,д) и тенеграммы (б,г,е) лазерной плазмы, полученные с одной голограммы. Задержка 75 нс, отсчитывается от максимума импульса CO_2 -лазера. Давление 10^{-2} торр (а,б); 0,9 торр (в,г); 5 торр (д,е)

(рис. 2в,г). Разлетающиеся пары мишени рожают в газе, окружающем мишень, ионизирующую ударную волну (ИУВ) /8,10/, распространяющуюся со скоростью $\sim 9 \cdot 10^6$ см/с. Поскольку при низком (≤ 1 торр) давлении остаточного газа эффективность взаимодействия лазерного излучения с ионизованным газом непосредственно за фронтом ИУВ низка /10/, область, ограниченная фронтом ИУВ, практически симметрична относительно нормали к мишени (рис. 2 а,б,в,г). Ситуация меняется при давлениях больших ~ 2 торр. Возрастание электронной плотности непосредственно за фронтом ИУВ ведет к эффективному поглощению лазерного излучения и, как следствие, к резкому увеличению энерговыделения в этой области $E_v = I_1/L_1$ (E_v - мощность, выделяемая в единице объема, I_1 - интенсивность, L_1 - длина пробега лазерного кванта). Это приводит к режиму распространения оптического разряда /12/, к так наз. пробою газа вблизи мишени. На рис. 2 д,е отчетливо наблюдаются пространственно разрешенные области ИУВ и волны ионизации. Поскольку давление газа в этом случае составляет 5 торр, характерный размер области ударной волны меньше по сравнению со случаем на рис. 2 в,г (падает скорость распространения ИУВ). Что касается волны ионизации, то она распространяется навстречу лазерному излучению, в то время как ИУВ остается симметричной относительно нормали к мишени.

Таким образом показано, что при воздействии мощного десятимикронного излучения на металлические мишени при малых давлениях остаточного газа, которое исследовалось в работе /10/, можно пространственно разделить и визуализировать ионизирующую ударную волну и волну ионизации путем голографической интерферометрии лазерной плазмы на наклонной мишени.

В заключение авторы выражают благодарность Э.А. Груз за разработанные и представленные высококачественные голографические материалы, а также Е.М. Любимову за помощь в проведении эксперимента.

Поступила в редакцию 30 сентября 1983 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Барчуков и др., Письма в ЖЭТФ, 17, 413 (1973).

2. А.М. Бонч-Бруевич, Л.Н. Капорский, А.А. Романенков, ЖТФ, 43, 1746 (1973).
3. D.C. Smith, R.T. Brown, J.Appl. Phys., 46, 1146 (1975).
4. Г.И. Козлов, ЖТФ, 49, 67 (1979).
5. G.H. Canavan, P.E. Nielsen, Appl. Phys. Lett., 22, 409 (1973).
6. D.E. Lencioni, Appl. Phys. Lett., 23, 12 (1973).
7. R. Fedosejevs, M.C. Richardson, Appl. Phys. Lett., 27, 115 (1975).
8. Н.Г. Басов и др., Труды ФИАН, 52, 171, "Наука", М., 1970 г.
9. И.И. Ашмарин и др., ЖТФ, 41, 2369 (1971).
10. Н.П. Дацкевич и др., Краткие сообщения по физике ФИАН, №2, 35 (1983).
11. Ю.И. Бычков и др., Письма в ЖТФ, 2, 212 (1976).
12. Ю.П. Райзер, Лазерная искра и распространение разрядов, "Наука", М., 1974 г.