

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ПРИПОВЕРХНОСТНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ РАЗРЯД ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДАВЛЕНИЯХ ОКРУЖАЮЩЕГО МИШЕНЬ ГАЗА

Л.Я.МИНЬКО, В.И.НАСОНОВ

*Институт молекулярной и атомной физики,
Ф.Скаринь 70, 220072 Минск, Беларусь*

Аннотация. Экспериментально исследована динамика развития квазистационарного приповерхностного оптического разряда при воздействии квазинепрерывного излучения неодимового лазера ($q=0,1-10$ Вт/см²) на D16T, A99 и Bi в воздухе (1 атм) и азоте (до 17 атм). Установлен вид зависимостей от q начальных испарения и плазмообразования, а также яркостной температуры эрозионных факелов. Выявлены и проанализированы два вида периодических неустойчивостей плазмообразования и неустойчивость развития плазмы, связанный с $q(t)$, в течение лазерного импульса.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию квазистационарного приповерхностного оптического разряда (КПОР), реализуемого при воздействии квазинепрерывного лазерного излучения (ЛИ) ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau \sim 1,5$ мс) на дюралюминий D16T, алюминий A99 и висмут (Bi) в режиме формирования недорасширенного лазерного эрозионного плазменного факела (ЛЭПФ) в атмосфере воздуха нормального давления и азота давлением до 17 атм. Плотность мощности ЛИ q в зоне воздействия диаметром $\sim 3,5$ мм изменялась в диапазоне 0,1 - 10 МВт/см².

Экспериментально прослежена динамика процессов, сопровождающих лазерное воздействие от стадии начального испарения через промежуточную стадию неустойчивого плазмообразования до стадии установившегося состояния КПОР. Выявлены и изучены особенности в развитии приповерхностной плазмы и оптического разряда, тесно увязанные с физико-химическими свойствами материала мишени, режимом и условиями воздействия на поверхность. При воздействии на мишени в воздухе получены количественные данные об

энергетических зависимостях начального испарения и приповерхностного плазмообразования. Первоначальное плазмообразование (рис.1,2, кривые 2), проявляя свою эрозионную природу, всегда развивалось спустя некоторое время относительно начала испарения (рис.1, 2, кривые 1).

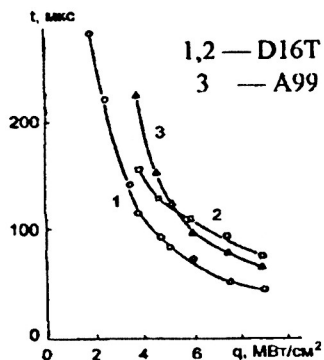


Рис.1

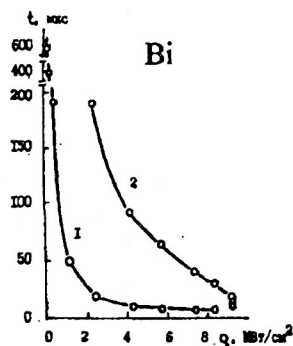


Рис.2

На основе изучения отражения ЛИ в условиях существования КПОР установлено, что вклад плазмы в поглощение ЛИ не велик, а регистрируемая экранировка поверхности мишени факелом обусловлена главным образом поглощением и рассеянием излучения частицами эрозии мишени. При воздействии на Д16Т показано, что связанные с этим энергетические потери, а также потери, обусловленные разлетом факела, могут компенсироваться тепловым действием самого факела на поверхность вследствие переизлучения части энергии плазмой, увеличивающегося с ростом q , а также вкладом инициируемой в приграничных с воздухом областях факела реакции горения частиц, повышающей температуру факела и его излучающую способность. В результате при воздействии ЛИ на Д16Т в диапазоне $q = 4-8$ МВт/см² запаздывание начала плазмообразования относительно начала испарения остается примерно постоянным (рис. 1). Существенные отличия в поведении порогов начального плазмообразования с мишенями из Д16Т и А99 в пределах

рассматриваемого диапазона q можно объяснить на основе различного вклада примесных компонент сплава Д16Т в плазмообразование в начале и в конце диапазона (Min'ko and Nasonov, 1996). С висмутовой мишенью (рис. 2) при изменении q имеет место резко нелинейная зависимость запаздывания начала плазмообразования относительно начала испарения. Уменьшение задержки начала образования плазмы относительно начала испарения при увеличении q с V_i , вероятно, можно объяснить тем, что при более высоких q в ходе воздействия в относительно однородном мелкодисперсном эрозионном факеле V_i легче достигаются пороговые условия развития плазмы (Минько и Насонов, 1996; Минько и Насонов, 1998).

Данные высокоскоростных съемок и измерений интенсивности свечения ЛЭИФ показали, что для всех материалов существуют интервалы q , внутри которых при каждом q образование плазмы в эрозионном факеле имеет неустойчивый характер. Выявлены и изучены два вида неустойчивостей периодического характера - высокочастотные с периодом в несколько микросекунд и относительно медленные с периодом в несколько десятков микросекунд. Неустойчивости связаны с неоднородностью теплофизических свойств мишеней и характером их разрушения, с дискретным, неравномерным поступлением частиц в факел и его экранирующим действием, с высокочастотными колебаниями интенсивности ЛИ, имеющими место на огибающей реального квазинепрерывного лазерного импульса, а также с неустойчивостью локального перегрева поверхности, вызванной тепловой контракцией при теплообмене между нагретой (выше температуры плавления) поверхностью и плазмой.

С мишенью из Д16Т при $q \geq 3,5$ МВт/см² обнаружены неустойчивости развития плазмы в течение лазерного импульса, обусловленные пороговым характером плазмообразования, связанным с мгновенной плотностью мощности $q(t)$, энергетическим вкладом реакции горения частиц эрозии мишени и экранирующим действием факела

на поверхность. Отмечено, что диапазон пороговых значений q , при которых проявляются указанные неустойчивости, определяется разбросом оптических свойств поверхности и степенью однородности мишеней.

Динамику процессов, сопровождающих лазерное воздействие на мишени в воздухе при изменении q иллюстрирует поведение яркостных температур эрозионных факелов, представленных на рис. 3 и 4. Так, например, с висмутом участок АВ соответствует испарительной стадии воздействия, ВС - предпробойному состоянию паров, CD - неустойчивому плазмообразованию, DE - устойчивому развитию КПОР, EF - просветлению КПОР.

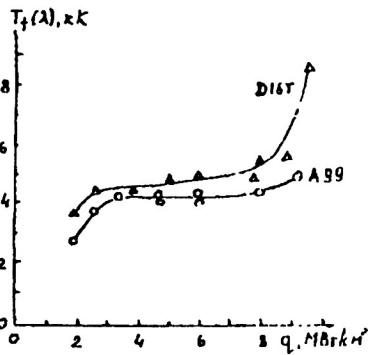


Рис.3.

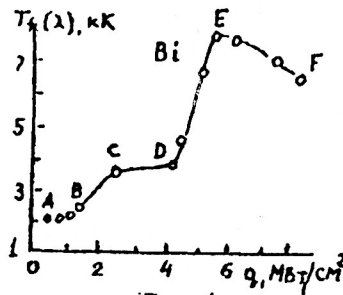


Рис.4.

В экспериментах с мишенями из D16T и Bi в атмосфере азота получены количественные данные, указывающие на уменьшение выноса массы вещества из зоны воздействия и снижение (в несколько раз) скорости фронта плазменного образования при повышении давления газа от 1 до 17 атм. При достижении некоторого порогового значения q ЛИ в ходе воздействия удаление фронта плазменного образования от поверхности сохраняется постоянным, а КПОР оказывается «прижатым» к поверхности и тем самым способствующим поддержанию процесса лазерно-плазменного воздействия на мишень.

Литература

- Min'ko L.Ya, Nasonov V.I.: 1996, Chem. Phys. vol.(15), 435
 Минько Л.Я., Насонов В.И.: 1996, Publ. Obs. Astron. Belgrade. 53, 125
 Минько Л.Я., Насонов В.И.: 1998, Журн. прикл. спектр. (65), 126