

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО
ПЛАЗМООБРАЗОВАНИЯ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ЭРОЗИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ФАКЕЛОВ ПРИ
КВАЗИНЕПРЕРЫВНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
НА ВИСМУТОВУЮ МИШЕНЬ

Л.Я.МИНЬКО, В.И.НАСОНОВ

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

Аннотация. Экспериментально изучена динамика плазмообразования при воздействии в воздухе на висмут квазинепрерывного излучения неодимового лазера ($\tau \sim 1,5$ мс) плотностью мощности $q = 0,1-10$ МВт/см². Показано, что в диапазоне $2 \leq q \leq 4$ МВт/см² плазмообразование имеет неустойчивый характер. Установлено, что воздействие при $q > 5$ МВт/см² вызывает просветление факела и снижение его экранирующего действия на мишень.

Настоящая работа посвящена комплексному экспериментальному исследованию взаимодействия квазинепрерывного лазерного излучения ($\lambda = 1,06$ мкм, $\tau \sim 1,5$ мс) с мишенью из висмута (Вl). Методами высокоскоростной фотографии регистрировались пространственно—временные характеристики приповерхностного плазмообразования, фотоэлектрическим методом измерялись отражение и рассеяние лазерного излучения (ЛИ), а также яркостные температуры поверхности мишени и лазерного эрозионного плазменного факела (ЛЭПФ) $T_{\text{ф}}$. Мишенями служили образцы с механически полированной поверхностью (коэффи-

циент отражения $\sim 67\%$). Плотность мощности q ЛИ в зоне воздействия диаметром 3,5 мм изменялась в пределах 0,1–10 МВт/см². Исследования проводились в воздухе при атмосферном давлении.

На основе измерений рассеяния ЛИ и высокоскоростной киносъемки формирования ЛЭПФ установлено, что на характер приповерхностного плазмообразования влияют не только химический состав мишени, наличие в факеле конденсированной дисперсной фазы (КДФ), но и вид дисперсности частиц (Минько Л.Я. и др., 1996). Эксперименты показали, что при разрушении V_i под действием ЛИ выбрасываемые в факел частицы имеют мелкодисперсный вид. Мелкодисперсность частиц и относительно низкие термодинамические параметры V_i определяют специфику взаимодействия ЛИ с частицами и факелом, определяя его динамику и взаимодействие ЛИ с мишенью в целом. Показано, что развитие паровой фазы факела V_i надежно регистрируется уже при $q \sim 0,16$ МВт/см². Установлена зависимость скорости движения фронта парового факела от q ЛИ. При изменении q в диапазоне 0,23–0,52 МВт/см² скорость фронта возрастала в пределах 3–155 м/с соответственно. Пороговое значение q начального образования плазмы ($T_{\text{ф}} \sim 3400\text{К}$) в экспериментах составило $\sim 2,1$ МВт/см². При этом при низких q плазмообразование начинается в ядре парового факела у поверхности, а с увеличением q появляется другая конкурирующая область плазмообразования, на фронте факела, которая становится доминирующей при $q > 5$ МВт/см² ($T_{\text{ф}} \sim 7500\text{К}$). При меньших q ЛИ (< 2 МВт/см²), когда формирует-

ся паровая струя, низкопорогового плазмообразования в факеле на заключительной стадии лазерного импульса, характерного обычно для более температуростойких материалов, в экспериментах с ВІ не наблюдалось. Обнаруженная особенность с ВІ при низких q объясняется отсутствием в факеле относительно крупных частиц КДФ ($d \sim 0,5$ мм), способных на пути луча "нарабатывать" достаточно плотный поглощающий слой пара. Исследования ЛЭПФ в рассеянном свете показали, что такие частицы выбрасываются из зоны воздействия под большими углами относительно оси лазерного луча и сосредоточены в основном в приповерхностной области за пределами диаметра пятна фокусировки. Лишь при $q > 4$ МВт/см² вследствие радиационного нагрева переизлученной энергией факела крупные частицы интенсивно испаряются, и в приповерхностной области развивается интенсивное свечение плазмы. Выявлено, что в диапазоне $2 \leq q \leq 4$ МВт/см² образование плазмы в ЛЭПФ ВІ имеет неустойчивый характер. Пульсации интенсивности свечения плазмы одного вида имеют период повторения 35–90 мкс и, как показывает анализ рассеяния ЛИ, связаны с неравномерностью выноса вещества мишени из зоны воздействия. Наблюдаемые пульсации другого вида имеют период 5–8 мкс и связаны, вероятно, с выбросом отдельных плазменных сгустков вследствие взрывообразного испарения и с дискретностью поступления вещества мишени из-за неоднородности теплофизических свойств материала мишени. На дискретность поступления вещества в ЛЭПФ могут влиять и высокочастотные колебания интенсивности ЛИ, всегда имеющие место на огибающей реального

лазерного импульса. Установлено, что при изменении q в диапазоне $2,1-5$ МВт/см² в области скачка уплотнения в квазистационарном недорасширенном факеле паров реализуется самоподжигающийся оптический разряд в эрозионной плазме. На основе анализа данных высокоскоростной киносъемки развития ЛЭПФ и изучения отражения ЛИ в процессе воздействия установлено протекание в факеле реакции горения частиц W_1 . В результате сгорания частиц на пути лазерного луча и газодинамического разлета ЛЭПФ под действием возникающего при этом давления факел просветляется, вследствие чего снижается его экранирующее действие на мишень. Полученные количественные данные о коэффициентах отражения свидетельствуют, что энергетические потери ЛИ в ЛЭПФ, идущие на нагрев и разрушение частиц КДФ, рассеяние, а также затраты, определяемые радиационными потерями, могут быть значительными. В условиях экспериментов при воздействии ЛИ плотностью мощности $q \sim 0,94$ МВт/см², когда сильно сказывается экранирующее действие частиц КДФ, энергетические потери в ЛЭПФ превышали 30%. С увеличением q до $6,2$ МВт/см² эти потери снижались в несколько раз.

Литература

Минько Л.Я., Насонов В.И.: 1996, Хим. физика. Т.15, №3. С.114.