

МНОГОИМПУЛЬСНЫЙ ПРИПОВЕРХНОСТНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ РАЗРЯД КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭРОЗИОННОЙ ПЛАЗМЫ

А.Н.ЧУМАКОВ, Н.А.БОСАК

*Институт молекулярной и атомной физики Национальной Академии наук
Беларуси, 220082 Минск, Беларусь
E-mail: chumakov@imaph.bas-net.by*

Резюме. Выявлены условия эффективного образования эрозионной плазмы и управления ее параметрами в многоимпульсном приповерхностном оптическом разряде.

1. ВВЕДЕНИЕ

Многоимпульсное лазерное воздействие на поглощающие материалы при относительно низких плотностях мощности лазерного излучения (ЛИ) $q < 10^7$ Вт/см² ($\lambda=1,06$ мкм), когда процессы плазмообразования протекают в парах мишени без перехода в окружающий мишень газ, в значительной мере исследовано и широко применяется в технологии. В этих условиях частота следования лазерных импульсов влияет преимущественно на процессы разрушения облучаемого материала и сказывается прежде всего на выносе массы, форме лунки и т.д. Анализ динамики плазменных образований в таких условиях привел к развитию представлений о режиме последовательного выталкивания воздуха и эрозионных паров периодическими плазменными сгустками (Минько Л.Я. и др., 1989).

При более высоких плотностях мощности ЛИ $q \sim 10^8 + 10^9$ Вт/см² энерговклад в мишень ограничивается развитием экранировки мишени плазмой и формированием лазерных волн поглощения в газах (Немчинов И.В., 1982). Процессы лазерного приповерхностного плазмообразования протекают при этом уже не только в эрозионной плазме, а преимущественно в окружающем мишень атмосферном газе. В таких условиях переход от одноимпульсного лазерного воздействия к многоимпульсному должен, вероятно, приводить к существенной неаддитивности действия отдельных лазерных импульсов серии, особенно при высоких частотах их повторения.

В работе рассмотрены возможности направленного выбора плазмообразующей среды (пары мишени или атмосферный газ), в которой реализуется оптический разряд, и управления параметрами образующейся плазмы на основании исследований одно- и многоимпульсного лазерного воздействия на материалы в газах.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведены систематические исследования воздействия ЛИ на ряд мишеней (металлы, стеклотекстолит, графит, эбонит) при различных давлениях воздуха 0,1-10 атм и плотностях мощности ЛИ $10^7 < q \leq 10^9$ Вт/см² ($\lambda=1,06$ мкм) в режимах одиночных, двойных, а также серий лазерных импульсов с частотами повторения $f \leq 200$ кГц. Управление режимом генерации лазера осуществлялось с помощью крупногабаритных пассивных затворов с F₂⁻ - центрами окраски (Босак Н.А. и др., 1987). Динамика лазерных плазмообразований исследовалась методами высокоскоростной фотографии и киноспектрографии, регистрировалось давление и потенциалы на поверхности металлических мишеней.

Показано, что в воздухе атмосферного давления при интенсивности ЛИ $q < 2 \cdot 10^7$ Вт/см² независимо от частоты следования лазерных импульсов приповерхностный оптический разряд развивается в эрозионной плазме. При достаточно высокой частоте повторения лазерных импульсов ~50-100 кГц над эрозионным плазменным факелом образуется область повышенной плотности воздуха, обусловленная взаимодействием ударных волн, инициируемых отдельными лазерными импульсами, с атмосферным воздухом (Костюкевич Е.А. и др., 1980). В такой "пробке" сжатого воздуха над эрозионным плазменным образованием уже при интенсивности ЛИ $q \sim 2 \div 5 \cdot 10^7$ Вт/см² может инициироваться низкопороговый оптический пробой (Минько Л.Я. и др., 1989), приводящий к одновременному существованию эрозионной и воздушной плазмы в различных областях плазменного факела.

С повышением интенсивности ЛИ $q > 5 \cdot 10^7$ Вт/см² преимущественное плазмообразование перемещается из паров в воздух еще на фронте лазерного импульса, приводя к экранировке мишени воздушной плазмой (Минько Л.Я. и др., 1994). Более 10% энергии лазерного импульса конвертируется в излучение плазмы в видимой и инфракрасной областях спектра, интенсивность которого квазилинейно растет с плотностью мощности ЛИ (Чумаков А.Н. и др., 1994, 1997). Такая физическая картина характерна как для одиночных лазерных импульсов, так и для серии, если частота их повторения не превышает ~1÷5 кГц. В этих условиях оптический разряд осуществляется преимущественно в воздухе.

При более высоких частотах повторения лазерных импульсов $f \geq 5$ кГц обнаруживается неаддитивность действия отдельных лазерных импульсов серии, которая проявляется при измерениях давления на мишени (рис.1), ее потенциалов (рис.2), а также при регистрации спектров. Это приводит к тому, что в определенном диапазоне параметров лазерных импульсов ($q > 0,2$ ГВт/см²; $f > 5$ кГц)

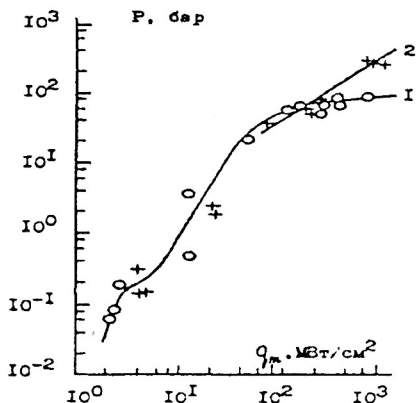


Рис.1. Давление на Al-мишени при воздействии первого (1) и второго (2) импульсов ЛИ

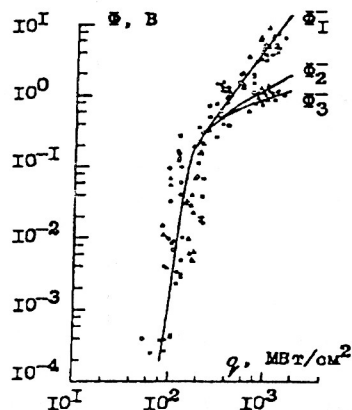


Рис.2. Потенциалы Al-мишени при воздействии первого (Φ_1^-) и последующих импульсов ЛИ

реализуется режим эффективного эрозионного плазмообразования, который сопровождается повышением эффективности возбуждения давления на поверхности мишени, усилением эрозионного плазмообразования и сменой плазмообразующей среды (Минько Л.Я., Чумаков А.Н. и Босак Н.А., 1990). Воздушная плазма, образованная первым лазерным импульсом, обладает специфической пространственной структурой, обусловленной инициированием радиационной, либо светодетонационной лазерных волн поглощения, и в дальнейшем при воздействии последующих лазерных импульсов почти полностью вытесняется эрозионной плазмой. При этом в плазменном факеле образуются устойчивые вихревые структуры, препятствующие смешиванию эрозионной и воздушной плазмы в течение интервала между лазерными импульсами. Иначе говоря, создается лазерно-плазменный насос, отсасывающий воздух из области воздействия вблизи мишени. В этих условиях реализуется специфический приповерхностный оптический разряд в эрозионной плазменной среде. Анализ динамики плазменного фронта показал, что светодетонационные волны поглощения ЛИ формируются и распространяются при этом и в эрозионной плазме, а не только в воздухе (Минько Л.Я., Чумаков А.Н. и др., 1993). Выяснено, что описанная физическая картина сохраняется и при понижении давления воздуха до $\sim 0,1$ атм.

С увеличением давления атмосферного газа (азот) уменьшается скорость разлета плазмы, приводя к накоплению в области каустики линзы нескольких плазменных сгустков от ряда лазерных импульсов, а также

изменяется структура приповерхностных лазерных плазмообразований. Кроме того над ними обнаруживаются локальные плазменные образования в окружающем мишень газе, количество которых становится особенно значительным при увеличении давления до 8 - 10 атмосфер. Поэтому эффективность образования эрозионной плазмы с повышением давления уменьшается. При давлении $p \geq 10$ атм (азот) в приповерхностном оптическом разряде одновременно сосуществуют области как с эрозионной, так и с азотной плазмой даже при плотности мощности ЛИ $q \sim 50$ МВт/см² в хаотическом режиме генерации (Al-мишень).

Высокая эрозионная эффективность многоимпульсного приповерхностного оптического разряда обеспечивает широкие возможности его применения в технологии. Так двухимпульсный оптический разряд уже применяется в лазерном спектральном анализе (Першин С.М., 1989; Петух П.Л. и др., 1994), а высокочастотный многоимпульсный - в лазерных технологиях обработки материалов (Минько Л.Я., Чумаков А.Н., Босак Н.А. и др., 1995).

Литература

- Босак Н.А., Мартыненко О.Г., Чумаков А.Н. и др.: 1987, Препринт №43 Института тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова, Минск.
- Костюкевич Е.А., Минько Л.Я., Чумаков А.Н.: 1980, Препринт № 211 Института физики АН БССР, Минск.
- Минько Л.Я., Бакеев А.А., Чумаков А.Н.: 1989, *ЖПС*, **51**, 403.
- Минько Л.Я., Чумаков А.Н., Босак Н.А.: 1990, *Квант. электр.*, **17**, 480.
- Минько Л.Я., Чумаков А.Н., Босак Н.А., Авраменко В.Б.: 1993, *Хим. физика*, **12**, 1500.
- Минько Л.Я., Чумаков А.Н., Баканювич Г.И.: 1994, *ЖПС*, **61**, 476.
- Минько Л.Я., Чумаков А.Н., Босак Н.А. и др.: 1995, V Межд. конф. "Лазерные технологии'95". Тез. докл., 38, Шатура.
- Немчинов И.В.: 1982, *Изв. АН СССР. Сер. физич.*, **46**, 1026.
- Першин С.М. : 1989, *Квантовая электроника*, **16**, 325.
- Петух П.Л., Широков А.Д., Янковский А.А.: 1994, *ЖПС*, **61**, 340.
- Чумаков А.Н., Ефремов В.В., Босак Н.А. и др.: 1994, *Квант. электр.*, **21**, 773.
- Чумаков А.Н.: 1997, Физика плазмы и плазменные технологии, (Мат. конф.), **3**, 547, Минск.