

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ.

С.В.Васильев, А.Ю.Иванов, В.И.Недолугов,
Н.Н.Серебряков.

*Гродненский государственный университет им.
Я. Купалы. 230023, БЕЛАРУСЬ, г.Гродно, Ожешко 22*

Целью данной работы является исследование влияния электрических полей различной напряженности (от 0 до 10^6 В/м) на пространственную и временную эволюцию поля плотности электронов в лазерной плазме, возникающей при действии миллисекундных лазерных импульсов на поверхности различных металлов (медь, алюминий, олово, свинец, индий).

Излучение рубинового лазера ГОР-100М (длительность импульса в режиме свободной генерации $\sim 1,2$ мс, длина волны $\lambda=693,4$ нм) при помощи фокусирующей системы направлялось через отверстие в электроде на облучаемый образец, который являлся вторым электродом. Энергия лазерного импульса E_0 варьировалась от 5 до 60Дж. Для получения на образце относительно однородного пятна фокусировки излучения с резкими границами диаметром $d=2$ мм использовалась диафрагма диаметром 10мм, изображение которой строилось фокусирующей системой на поверхности мишени. Часть энергии ($\sim 4\%$) лазерного импульса, отраженная от передней грани стеклянного клина, поступала на измеритель энергии ИМО-2Н. Световой поток, отраженный от задней грани клина, направлялся на

коаксиальный фотоэлемент ФЭК-15, что позволяло регистрировать временную форму лазерного импульса при помощи осциллографа С8-13.

Напряжение на электроды подавалось от источника, позволявшего изменять напряжение в пределах от 0 до 25кВ. Внутреннее сопротивление источника равнялось 10МОм. Параллельно электродам через сопротивление с $R=400\text{МОм}$ был подключен осциллограф С8-13. Расстояние между электродами варьировалось от 2 до 8см. Для визуализации и исследования пространственно-временной эволюции поля плотности электронов в лазерном факеле, возникавшем у поверхности облучаемого образца, нами использовался метод скоростной голографической киносъемки. Межэлектродный промежуток помещался в одном из плеч голографического интерферометра Маха-Цендера, который освещался излучением рубинового лазера, работавшего в режиме свободной генерации. Зондирующее излучение направлялось в коллиматор, позволявший получать параллельный световой пучок диаметром 5мм. Поля зрения было вполне достаточно для наблюдения за развитием лазерного факела.

Интерферометр был состыкован со скоростной регистрирующей камерой СФР-1М, плоскость фотопленки в которой при помощи объектива была оптически сопряжена с меридианальным сечением воздействующего на мишень светового пучка. Камера работала в режиме лупы времени, угол голографирования ограничивался конструкцией камеры и был равен 10^{-2} радиан, что обеспечивало фоторегистрирующую разрешающую способность 16 линий на миллиметр. Данная методика позволяла регистрировать голограммы с временным разрешением не хуже 0,8мкс и по ним

восстанавливать поля электронной плотности с пространственным разрешением 25 мкм

Зарегистрированные по описанной выше методике интерферограммы были использованы для расчета полей показателя преломления лазерной плазмы. Определив поле показателя преломления плазмы $n(z, \rho)$, мы можем легко рассчитать и поле концентрации электронов:

$$N_e(z, \rho) = -2\pi m_e c^2 (n(z, \rho) - 1) / e^2 \lambda^2 = -0,233 \cdot 10^{14} \frac{n(z, \rho) - 1}{\lambda^2} \text{ см}^{-3}$$

При подаче на облучаемую мишень отрицательного потенциала V_{oz} и V_{pz} существенно превосходят V_{or} и V_{pr} . При увеличении разности потенциалов U это отличие становится все более заметным: факел как бы «вытягивается» вдоль оси z . При этом по мере приближения фронта плазмы к положительно заряженному электроду V_{pz} увеличивалась, что, очевидно, было связано с увеличением напряженности электрического поля E в разрядном промежутке при неизменной разности потенциалов U ($E = U / l$, где l - расстояние между границей плазменного образования и положительно заряженным электродом). При достижении напряженности пробоя воздуха ($E \sim 1 \text{ МВ/м}$) лазерный факел за время между двумя экспозициями фотопленки ($\sim 0,8 \text{ мкс}$) достигал положительного электрода - происходил пробой нейтрального (неионизированного) воздуха. Напряжение при этом резко уменьшалось и в дальнейшем падало до нуля.

При подаче на облучаемый образец положительного потенциала скорость возбуждаемой в окружающий образец газа ударной волны по нормали к мишени и скорость перемещения границы плазменного фронта вдоль оси z были меньше скорости перемещения ударной волны

и плазменного фронта в радиальном направлении соответственно: факел «прижимался» к мишени, причем тем сильнее, чем больше было напряжение U . В этом случае плазма достигала второго электрода за большее время, чем в отсутствие внешнего электрического поля. На рис.6 представлены зависимости времени τ между началом облучения образца и пробоем воздуха в межэлектродном промежутке от энергии импульса E_0 , при различных значениях напряжения U . Видно, что при больших значениях E_0 пробой наступает раньше. Это является следствием формирования более мощных ударных волн (с большим периодом плотности и давления перед и за фронтом ударной волны, а, следовательно, ее скорости и скорости давления ударно сжатой среды). Подобный эффект наблюдается в отсутствие внешнего поля. Однако по мере увеличения разности потенциала между электродами зависимость τ от E становится менее выраженной: при возрастании U очевидно, по сравнению со свободным разлетом плазмы, роль начинает играть ускорение заряженных частиц (прежде всего электронов) электрическим полем.