

САМОСВЕЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПРИ ЛАЗЕРНОМ УСКОРЕНИИ

С.Ф. Гончаров, П.П. Пашинин, Р.В. Серов, И.А. Стучебрюхов, В.П. Яновский

В экспериментах по лазерному ускорению тонких пленок зарегистрировано собственное свечение пленки с пространственным и временным разрешением, что позволило исследовать движение ускоренной части пленки. Регистрация самосвечения при распространении ударной волны по ускоренной части пленки в сочетании с другими методами позволила измерить скорость максимума плотности пленки (75 км/с) при наличии неоднородности движения.

Диагностика движения тонких пленок, ускоренных в результате их частичной абляции при нагреве лазерным излучением, усложняется наличием теплового расширения /1/. Одновременное применение нескольких диагностических методов дает информацию о движении областей с различной плотностью /2/. Однако такой подход осуществить сложно, так как существующие методы диагностики /3, 4/ являются сложными, и в ряде случаев невозможно их одновременное применение. Регистрация собственного свечения ускоренной части пленки отличается простотой (не требуется источник подсветки) и совместимостью с другими диагностикой. Регистрируемое в ряде работ свечение тыльной поверхности мишени в направлении ее движения использовалось для фиксации момента выхода ударной волны на ее поверхность /5/ и определения ее температуры /6/ и не давало непосредственной информации о движении пленки. Целью настоящей работы являлась регистрация свечения пленок в плоскости, перпендикулярной движению, с временным и пространственным разрешением совместно с многокадровой интерферометрией и сравнение этих методов.

Эксперименты проводились в условиях, аналогичных условиям работы /9/. Свечение мишени проецировалось зеркальной оптикой ($f/10$) на щель времяанализирующей электронно-оптической камеры "АГАТ-СФ-1". Щель располагалась в центре изображения ускоренной части мишени параллельно направлению ее движения. Пропускание фильтров и чувствительность фотокатода позволяли регистрировать излучение в спектральном диапазоне 0,35 – 0,7 мкм. Трехкадровая интерферометрия проводилась на длине волны 0,53 мкм при длительности зондирующего импульса 380 пс /7/.

На рис. 1 представлена временная развертка свечения и траектории, соответствующие движению фронта и спада свечения, совместно с траекторией движения переднего края оптической тени (зоны непрозрачности /7/), полученной из многокадровых интерферограмм. На X – T диаграмме тени отдельно выделены точки (+), соответствующие эксперименту, в котором была получена фотография свечения рис. 1а. Остальные точки для траектории тени получены в других экспериментах, проведенных в близких условиях. Как следует из рис. 1, фронт свечения несколько опережает тень, однако разность их координат того же порядка, что и разброс положений тени в различных экспериментах (< 100 мкм). Наличие спада свечения дает информацию о положении задней границы ускоренной части пленки. Интерферометрия этой информации не дает, так как тень ускоренной части сливается с тенью от начального положения мишени при задержках зондирования, характерных для наших экспериментов.

При облучении пленок толщиной 6 мкм более длинными лазерными импульсами (до 8 нс) движение становится неоднородным во время действия импульса /7/, что приводит к расширению зоны свечения за счет сближения или даже слияния задней границы свечения с начальным положением мишени (рис. 2). Дополнительную информацию о движении дает распространение фронта ударной волны по ускоренной части мишени при столкновении ее с препятствием, наблюдаемое нами, по-видимому, впервые. Использовались два вида препятствий: экраны из стекла и латуни, установленные перпендикулярно направлению движения мишени. На рис. 2 представлены временные развертки свечения, а также X – T диаграммы движения переднего фронта свечения, тени и фронта ударной волны для пленки начальной толщины 6 мкм и двух типов экранов. В случае стеклянного экрана фронт ударной волны начинается практически на экране, в случае латунного – на

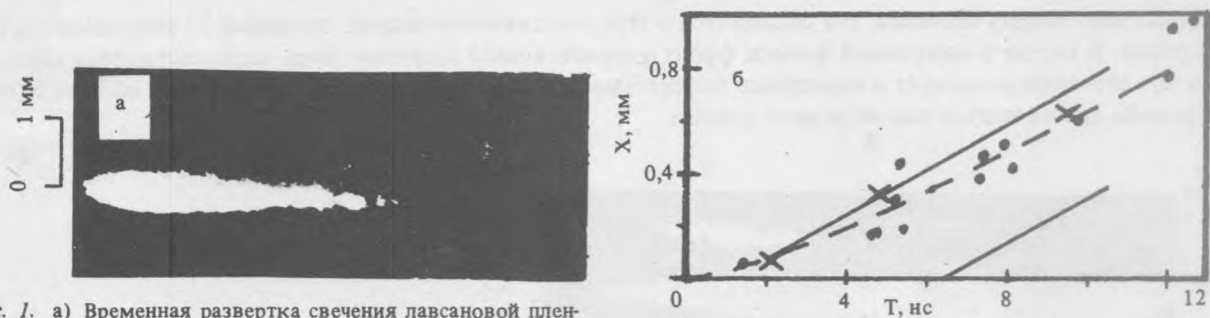


Рис. 1. а) Временная развертка свечения лавсановой пленки начальной толщины 6 мкм, облученной лазерным импульсом длительностью 5 нс при плотности потока лазерного излучения на мишени $5,8 \cdot 10^{12}$ Вт/см²; б) Траектории движения фронта и спада свечения (сплошные линии) и движения переднего края оптической тени (пунктир), полученной при аппроксимации экспериментальных данных, соответствующих эксперименту рис. 1а (+) и другим экспериментам, проведенным в близких условиях (·).

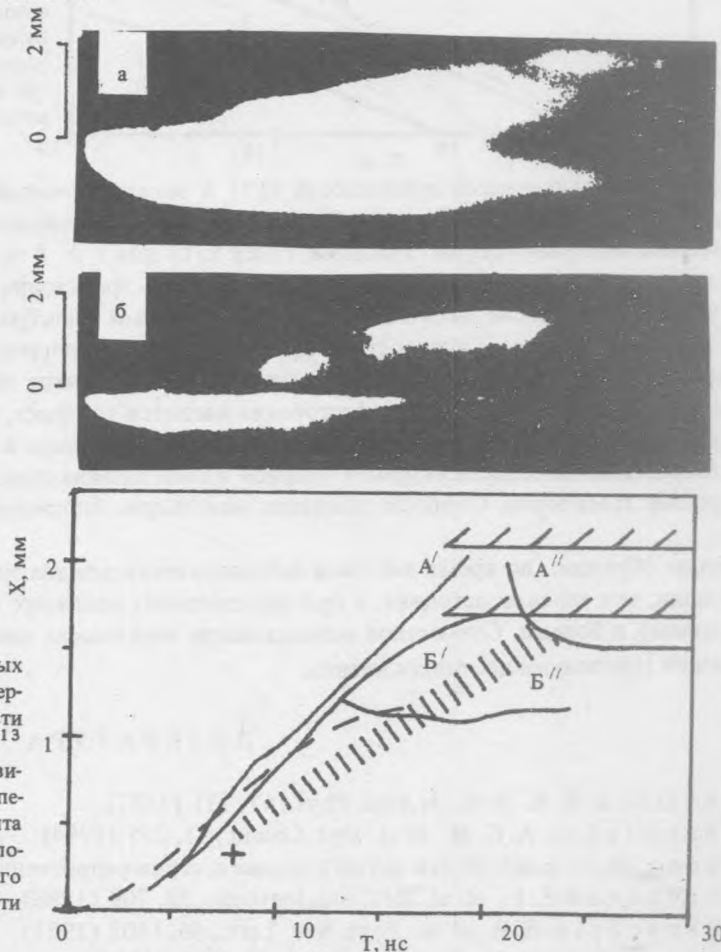


Рис. 2. Временные развертки свечения лавсановых пленок начальной толщины 6 мкм, облученных лазерным импульсом длительностью 8 нс, при плотности потока лазерного излучения на мишени $1,1 \cdot 10^{13}$ Вт/см² (а) и $5,8 \cdot 10^{12}$ Вт/см² (б) и траектории движения фронта свечения (сплошные линии А', Б'), переднего края оптической тени (пунктир) и фронта ударной волны (А'', Б''). Крестом обозначено положение критической поверхности в конце лазерного импульса, область движения максимума плотности показана штриховкой.

расстоянии 400 – 500 мкм от него. Вблизи латунного экрана возникает слабое свечение задолго до прихода ускоренной части пленки (рис. 3). Можно предположить, что вблизи латунного экрана образуется холодная плазма, по-видимому, в результате прогрева экрана излучением. В этом случае ударная волна возникает при столкновении ускоренной пленки с этой плазмой. Для пленки начальной толщины 25 мкм (рис. 3) область свечения представляет собой полосу шириной порядка 400 мкм. Как видно из рис. 3, фронт ударной волны

проходит всю область свечения, что согласуется с тем, что движение пленки толщиной 25 мкм является одномерным. В случае 6-микронной пленки фронт ударной волны проходит лишь часть светящейся области (рис. 2), что свидетельствует о нарушении плоскостности пленки и позволяет локализовать область X – T диаграммы, где находится основная часть пленки.

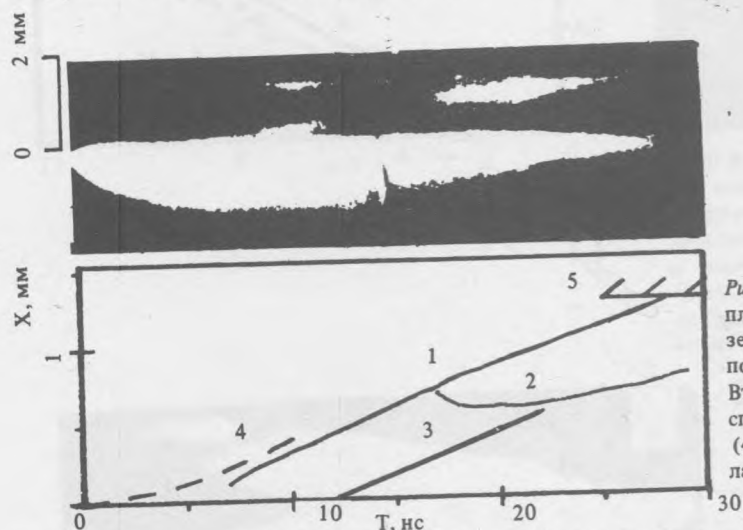


Рис. 3. Временная развертка свечения лавсановой пленки начальной толщины 25 мкм, облученной лазерным импульсом длительностью 8 нс при плотности потока лазерного излучения на мишени $5,7 \cdot 10^{12}$ Вт/см² (вверху). Траектории движения фронта (1) и спада (3) свечения, переднего края оптической тени (4) и фронта ударной волны (2); показан экран из латуни (5).

Положение критической поверхности $x(t)$ в момент времени t , соответствующий окончанию лазерного импульса, определялось в [9] из фотографий свечения плазменной короны, снятых в рентгеновской области с помощью камеры-обскуры. Учитывая точку $x(t)$ для $t = 8$ нс на графике рис. 2 и используя X – T диаграммы свечения ускоренной части и тени, строилась траектория движения максимума плотности ускоренной части пленки после окончания лазерного импульса (заштрихованная область). При этом учитывалось, что между максимумом плотности и критической поверхностью должна быть еще зона теплопроводности, ширина которой составляет в условиях данных экспериментов не менее 20 мкм [8]. Дополнительным подтверждением правильности такого построения является тот факт, что траектории движения максимума плотности пересекают траектории движения фронта ударной волны в области перегиба (рис. 2). Действительно, при возрастании плотности скорость ударной волны должна падать, а при уменьшении расти, что и приводит к перегибу траектории. Скорость движения максимума плотности, определенная из рис. 2, составила 75 ± 5 км/с.

Таким образом, во время действия лазерного импульса диагностика по самосвечению дает не меньше информации, чем теневая методика, а при определенных условиях (например, с регистрацией движения ударной волны) и больше. Совместное использование нескольких диагностик позволяет определить траекторию движения максимума плотности пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Whitlock R. R. et al. J. Appl. Phys., 61, 131 (1987).
2. Maaswinkel A. G. M. et al. Opt. Comm., 51, 255 (1984).
3. Басов Н. Г. и др. Итоги науки и техники, серия радиотехника. М., ВИНТИ, 1982, т. 26, ч. 2, с. 69-76.
4. Goncharov S. F. et al. Rev. Sci. Instrum., 59, 709 (1988).
5. Obenschain S. P. et al. Phys. Rev. Lett., 46, 1402 (1981).
6. McLean E. A. et al. Phys. Rev. Lett., 45, 1246 (1980).
7. Гончаров С. Ф. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 41 (1988).
8. Fabbro R., Max C., Fabre E. Phys. Fluids, 28, 1463 (1985).
9. Гончаров С. Ф. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 19 (1989).