

ИЗМЕРЕНИЕ ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ ПИРОМЕТРОМ С ПЗС-МАТРИЦЕЙ SONY ICX415AL

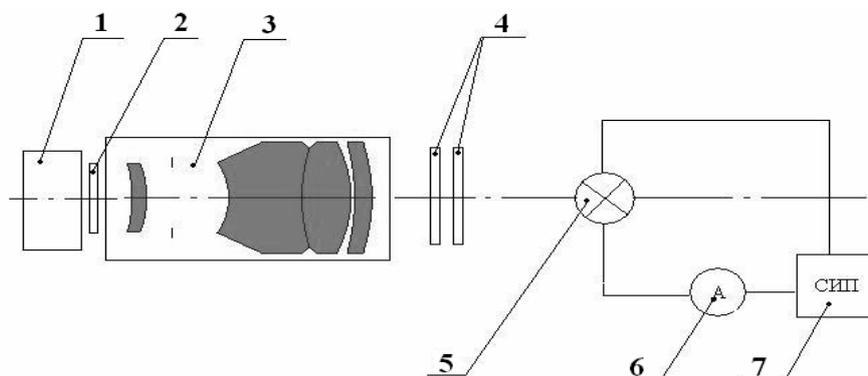
И.С. Никончук, А.Н. Чумаков

Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь,
nick@imaph.bas-net.by

Abstract

The optical pyrometer based on CCD SONY I415AL was created in order to monitor the processes of pulsed plasma modification of materials. Spatio-temporal distribution of spectral brightness and temperature of the surface obtained with a pyrometer allow us to estimate its contribution to the process of plasma surface modification of materials processed.

С целью контроля процессов импульсной плазменной модификации материалов создан оптический пирометр, обеспечивающий определение яркостной температуры плазменных образований с пространственно-временным разрешением. В основу оптического пирометра (рис. 1) положена система регистрации оптического излучения на базе ПЗС-матрицы ICX415AL, управляемая персональным компьютером.



1-3 – пирометр на основе матрицы ICX415AL; 2 – фильтр №87017 на 516 нм; 3 – объектив Юпитер-21А; 4 – набор нейтральных светофильтров; 5 – светоизмерительная лампа СИ10-300у; 6 – амперметр М-104; 7 – стабилизированный источник питания СИП 30

Рис.1. Схема калибровки пирометра по эталонной лампе СИ10-300у

Пирометр калибровался по значениям спектральной энергетической яркости эталонной светоизмерительной лампы СИ10-300у, калиброванной в интервале от 0,3 до 2,5 мкм в Саратовском центре стандартизации и метрологии (рис. 1). Питание лампы осуществлялось постоянным током от стабилизированного источника питания СИП-30. Величина тока

контролировалась амперметром типа М-104. Схема экспериментальной установки для калибровки пирометра по эталонной лампе приведена на рисунке 1, параметры установки сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Параметры экспериментальной установки для калибровки системы регистрации

Система регистрации оптического излучения на основе матрицы ICX 415 AL	№: 200807-14-02-07500-016-05-00479
Размер матрицы фотоприемника	7,48 мм×6,15 мм
Размер пиксела	8,3 мкм×8,3 мкм
Объектив Фокусное расстояние объектива, f Диафрагма, D Шкала расстояний, значение	Юпитер-21А 200 мм 16 2,4
Блок питания	СИП30
Амперметр (класс точности 0,5)	М-104 №
Лампа	СИ10-300у №70
Ширина излучающей ленты эталонной лампы	3 мм
Ширина изображения излучающей ленты эталонной лампы на матрице фотоприемника	0,432мм (48 пикселей)

Спектральная яркость плазмы рассчитывается по формуле /1/:

$$B_{пл} = B_{эт} \frac{\Omega_{эт} S_{эт} \tau_{эт} I_{пл}}{\Omega_{пл} S_{пл} \tau_{пл} I_{эт}}, \quad (1)$$

Учитывая, что $\Omega = \frac{\pi}{4} \frac{f^2}{D^2 \cdot L^2}$, $S = K_y^2 \cdot d_{pixel}^2$, формула (при использовании одного и того же объектива) преобразуется:

$$B_{пл} = B_{эт} \frac{D_{пл}^2 L_{пл}^2 \tau_{эт} \Delta t_{эт} K_{уэт}^2 I_{пл}}{D_{эт}^2 L_{эт}^2 \tau_{пл} \Delta t_{пл} K_{упл}^2 I_{эт}}, \quad (2)$$

где $B_{пл}$ – спектральная яркость плазмы; $B_{эт}$ – спектральная яркость эталона; $D_{пл}$ – диафрагма (плазма); $D_{эт}$ – диафрагма (эталон); $L_{пл}$ – расстояние от объектива до мишени; $L_{эт}$ – расстояние от объектива до эталонной лампы; $\tau_{пл}$ – коэффициент пропускания набора светофильтров (плазма); $\tau_{эт}$ – коэффициент пропускания набора светофильтров (эталон); $\Delta t_{пл}$ – время экспонирования плазмы; $\Delta t_{эт}$ – время экспонирования эталона; $K_{пл}$ – коэффициент увеличения оптической системы регистрации (плазма); $K_{эт}$ – коэффициент увеличения оптической системы регистрации (эталон); $I_{пл}$ – амплитуда сигнала плазмы; $I_{эт}$ – амплитуда сигнала эталона.

Параметры регистрации амплитуды сигнала эталонной лампы приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры регистрации

Спектральная яркость $B_{\text{эт}}$ на длине волны 516 нм (в максимуме пропускания фильтра №87017, $\lambda_{\text{max}} = 516$ нм, $\tau_{516\text{max}} = 0,7211$, $\Delta\lambda_{516} = 24$ нм)	$2,4 \cdot 10^{-17}$
Расстояние L (от объектива до эталонной лампы)	165 см
Экспозиция регистрации $\Delta t_{\text{эт}}$	3,582 мс
Коэффициент увеличения (уменьшения) оптической системы регистрации K_v	6,94
Пропускание фильтров	
Фильтр №87017 на 516 нм $\Rightarrow 72,11\%$	$\tau_{516\text{max}} = 0,7211$
Фильтр НС-7 (3 мм) $\Rightarrow 40,3\%$	$\tau_{\text{НС7}} = 0,4030$
Фильтр НС-8 (3 мм) $\Rightarrow 14,50\%$	$\tau_{\text{НС8}} = 0,1450$

С помощью программного обеспечения для системы регистрации CCD Image было отснято 3 кадра, и выведены результаты для центральной области матрицы и на расстояниях 200 пкс влево и вправо (рисунок 2).

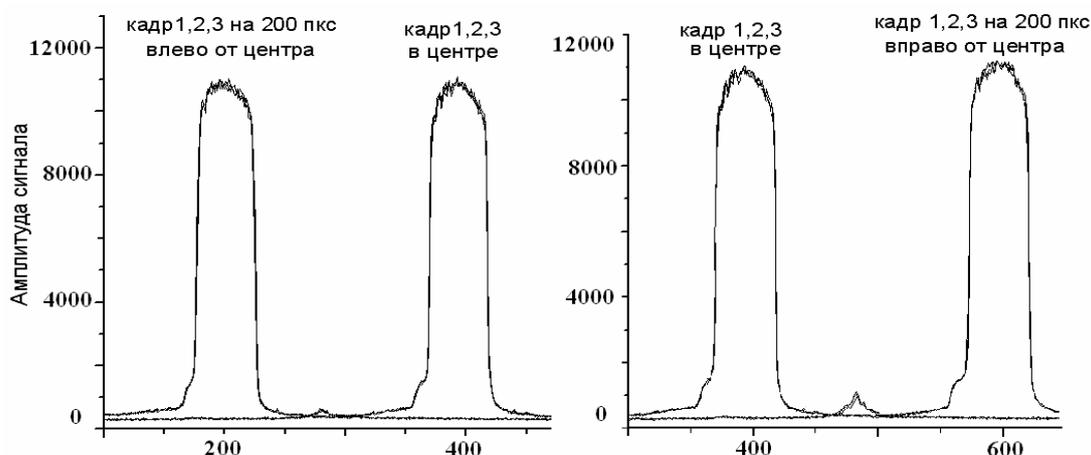


Рис.2. Амплитуда сигнала в центре матрицы и на 200 пикселей влево и вправо от центра (по 3 кадра).

Среднее значение амплитуды $I_{\text{эт}} = 10800$ (это значение используется для расчета спектральной яркости плазмы).

Созданный пирометр используется для определения пространственного распределения яркости приповерхностной плазмы при исследовании процессов импульсно-плазменной и лазерно-плазменной модификации материалов. Типичные фотографии свечения лазерной плазмы на стальной мишени при ее облучении в воздухе импульсным

излучением неодимового лазера ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=80$ нс) представлены на рисунке 3.

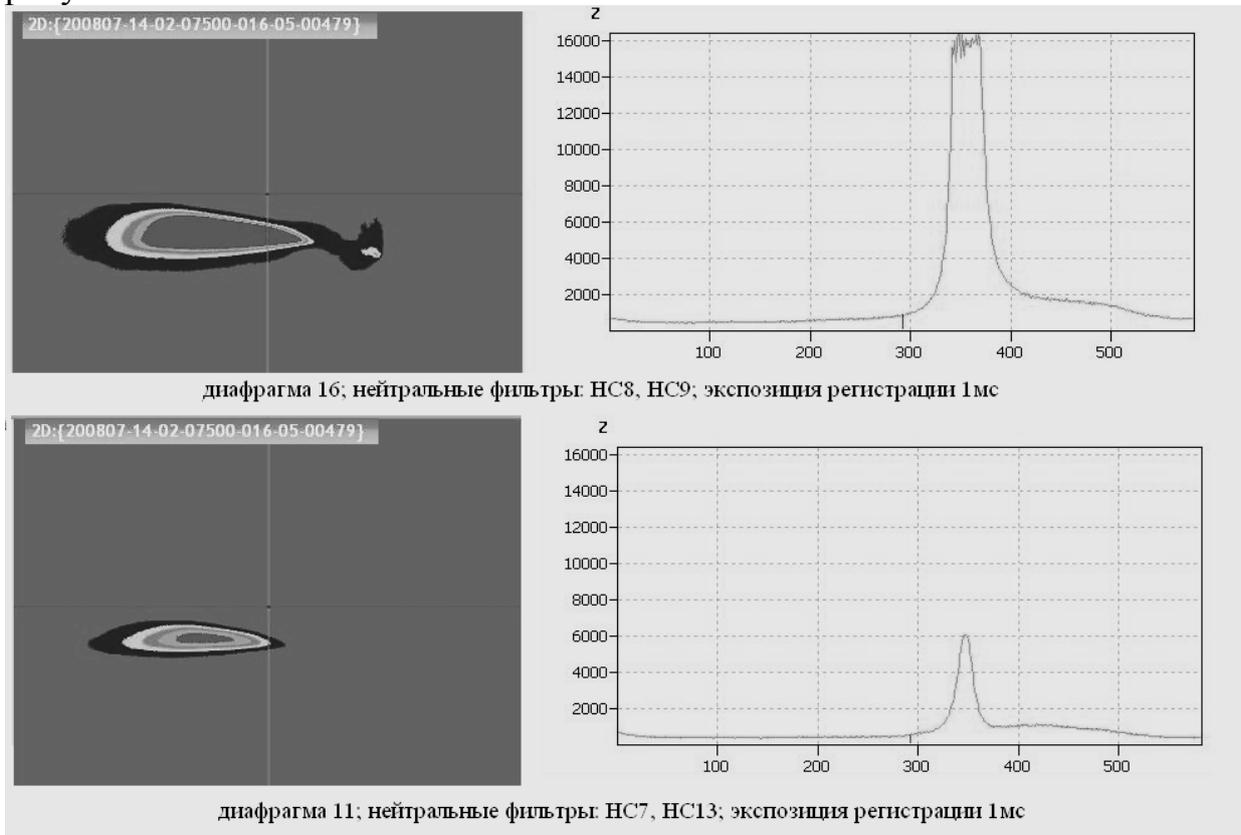


Рис.3. Фотографии лазерной плазмы (слева) и профили ее спектральной яркости на $\lambda=516$ нм (справа, $T_{\max}=4112$ и 4018 К) у поверхности стальной мишени

Пространственный профиль спектральной яркости плазмы B_{xy} определяется по профилям зарегистрированных сигналов пирометра из формулы (2) с учетом условий регистрации (экспозиции и времени свечения плазмы, значений диафрагмы, расстояния съемки и пропускания фильтров). Полученные данные с использованием формулы Планка обеспечивают расчет распределения яркостной температуры плазмы.

Получаемые с помощью пирометра пространственно-временные распределения спектральной яркости и температуры приповерхностной плазмы позволяют оценить ее вклад в процессы плазменной модификации поверхности обрабатываемых материалов.

Список литературы

1. Спектроскопическая диагностика эрозионной лазерной плазмы / Баканович Г.И. [и др.]. – Минск, 1978. – 30 с. – (Препринт / НАН Беларуси, Институт физики. – №149).