

Спектрограф с плоским полем на область длин волн 1 – 6 нм

А.О. Колесников¹, М.Д. Логачев¹, А.Н. Шатохин¹, Е.А. Вишняков¹, Е.Н. Рагозин¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53

Создан и испытан дифракционный спектрограф скользящего падения с плоским полем, концепция которого предложена Харадой [1], в области длин волн 1 – 6 нм. Разработка подобных спектрографов востребована для задач диагностики лабораторных плазменных источников [2], астрофизических исследований и работ на источниках синхротронного излучения.

В приборе используется позолоченная сферическая VLS-решетка (Varied Line-Space) с радиусом кривизны 23.55 м и центральной частотой штрихов 3200 мм⁻¹ [3]. Изменение частоты линий на поверхности решетки задается полиномом вида:

$$p(y) = p_0 + p_1 y + p_2 y^2 + p_3 y^3 \quad (1)$$

с проектными коэффициентами $p_0 = 3200 \text{ мм}^{-1}$, $p_1 = 14.43 \text{ мм}^{-2}$, $p_2 = 4.5 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^{-3}$ и $p_3 = 8.0 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^{-4}$, где частота штрихов изменяется от 2850 до 3600 мм⁻¹. Ширина заштрихованной рабочей области составляет 50 мм.

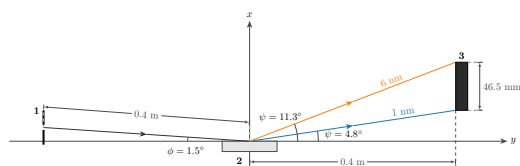


Рис. 1. Схема спектрографа. 1 – регулируемая входная щель, 2 – VLS-решетка, 3 – ПЗС-детектор.

Расстояния от входной щели до решетки и от решетки до детектора приблизительно равны и составляют 0.4 м (Рис. 1). Скользящий угол падения излучения составляет 1.5°. В качестве приемника используется ПЗС-матрица компании Teledyne e2v с обратной за светкой и размером ячейки 13 мкм.

Методом численной трассировки лучей было показано, что теоретическая разрешающая способность $\lambda/\delta\lambda$ во всем рабочем диапазоне составляет $\sim 10^3$, за исключением небольшой области у коротковолновой границы плоского поля. На практике разрешение дополнительно ограничено конечной шириной входной щели и размерами пикселя детектора. В эксперименте была достигнута $\lambda/\delta\lambda \approx 300$ в коротковолновой области и $\lambda/\delta\lambda \approx 900$ в длинноволновой.

Экспериментальные испытания прибора проводились в вакуумной камере. Линейчатые спектры возбуждались импульсами лазера Nd:YAG ($\lambda = 1.064 \text{ мкм}$, длительность 10 нс, энергия 1 Дж) на мишенях из тефлона, алюминия и титана. Интенсивность излучения в фокусе была не ниже 10^{12} Вт/см^2 .

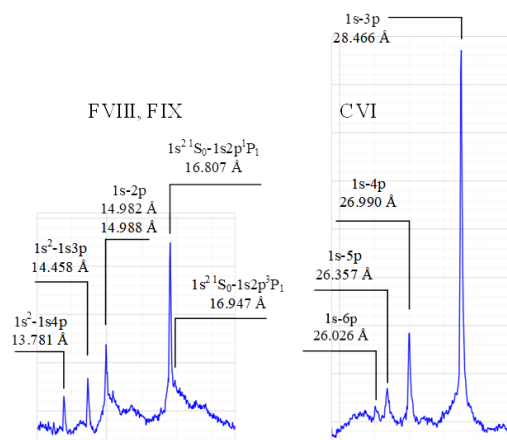


Рис. 2. Участки спектра тефлоновой мишени, содержащие линии ионов F VIII и F IX (слева) и лаймановскую серию иона C VI (справа).

В зарегистрированных спектрах уверенно разрешаются линии гелие- и водородоподобных ионов углерода и фтора (Рис. 2). Видна также слабая интеркомбинационная линия иона F VIII, красные крылья резонансных линий образованы многочисленными неразрешенными диэлектронными сателлитами.

На спектре титана (Рис. 3) отчетливо видны линии ионов Ti XIII, Ti XIV, Ti XV, Ti XVI, Ti XVII (потенциалы ионизации 788, 863, 942, 1044, 1131 эВ соответственно).

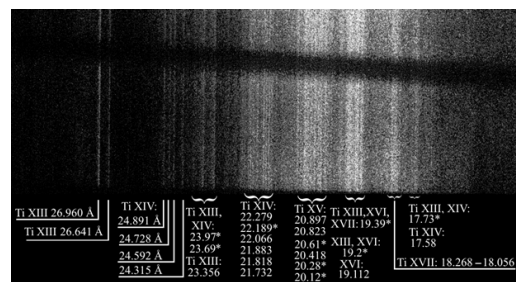


Рис. 3. Спектр титановой мишени.

Испытания подтвердили расчетные характеристики созданного отечественного спектрографа.

1. T. Kita, T. Harada, N. Nakano, H. Kuroda. Appl. Opt., 1983, 22, 512.
2. J. Dunn, E.W. Magee, R. Shepherd et al. Rev. Sci. Instr., 2008, 79, 10E314.
3. А.О. Колесников, М.Д. Логачев, Е.Н. Рагозин и др. Квантовая электрон., 2026, 56, 103.