

# Физическая аппаратура

УДК 533.9.082

## Четырехчастотный поляризационный микроскоп для регистрации изображения плазмы в диапазоне длин волн 0,4—1,1 мкм

Б. Л. Васин, С. В. Малькова, М. В. Осипов, В. Н. Пузырёв, А. Т. Саакян,  
А. Н. Стародуб, С. И. Федотов, А. А. Фроня, В. Г. Шутяк  
Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

*Дано описание оптической схемы и конструкции четырехчастотного поляризационного микроскопа для одновременной регистрации изображения плазмы в диапазоне длин волн 0,4—1,1 мкм с пространственным разрешением 12 мкм во всем спектральном диапазоне. Продемонстрирована эффективность использования такого микроскопа для исследований плазмы, возникающей при воздействии лазерного излучения на мишень. Получены изображения плазмы на частотах  $\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $2\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$ , где  $\omega_0$  соответствует частоте греющего излучения. Определен коэффициент трансформации греющего излучения в гармоники  $2\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$ , генерируемые в плазме.*

PACS: 52.38.-г

*Ключевые слова:* диагностика лазерной плазмы, взаимодействие лазерного излучения с веществом.

### Введение

Оптические методы диагностики нашли широкое применение в экспериментальных исследованиях плазмы, возникающей при взаимодействии лазерного излучения с веществом [1—3]. Одним из таких методов является регистрация излучения плазмы с высоким пространственным и временным разрешением в различных спектральных диапазонах. Его распространенность и эффективность обусловлены не только тем, что он дает информацию о локальных параметрах лазерной плазмы, таких как ее температура в областях с критической и четверти критической концентрацией электронов, скорость разлета, но и тем, что позволяет судить об эффективности поглощения лазерной энергии. Другая отличительная особенность метода — возможность диагностирования в плазме областей интенсивного электромагнитного поля, что в свою очередь позволяет судить об эффективности нелинейного взаимодействия мощного излучения с плазмой и механизмах такого взаимодействия. Поэтому развитие методик, позволяющих изучать распределение светимости плазмы по излучающей поверхности в различных спектральных диапазонах с высоким пространственным и временным разрешением, является актуальной задачей.

Особенностью лазерной плазмы является то, что условия ее возникновения, как и сами свойства

плазмы, существенно зависят от характера взаимодействия лазерного излучения с мишенью, которые меняются от выстрела к выстрелу, вследствие чего достаточно трудно обеспечить идентичность экспериментальных условий. Поэтому для исследований лазерной плазмы важно разрабатывать экспериментальную технику, которая дает возможность в одном выстреле получать как можно больше информации, в результате чего более надежно проводить сравнительный анализ процессов, протекающих в лазерной плазме.

Описание одного из таких приборов и посвящена данная работа. Речь идет о разработанном четырехчастотном поляризационном микроскопе, который позволяет регистрировать изображение лазерной плазмы в оптическом диапазоне длин волн 0,4—1,1 мкм с пространственным разрешением 12 мкм.

Важность этого диапазона длин волн при исследовании взаимодействия излучения Nd-лазера, используемого в наших экспериментах, с мишенями обусловлена тем, что с помощью микроскопа в одном выстреле в заданном направлении и с одинаковым пространственным разрешением можно регистрировать изображения лазерной плазмы в излучении гармоник  $2\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$  и на частоте греющего излучения  $\omega_0$ , т. е. путем срав-

нительного анализа спектров и интенсивностей излучения гармоник и рассеянного излучения можно судить о процессах, происходящих в различных областях плазмы и механизмах этих процессов.

### Конструкция четырехчастотного поляризационного микроскопа

Для одновременной регистрации четырех изображений плазмы в различных длинах волн рассчитана и создана оптическая система, приведенная на рис. 1. Объектив 2 строит изображение плазмы, образующейся при взаимодействии лазерного излучения с мишенью, в плоскости регистрирующего элемента. В нашем случае регистрация изображения плазмы ведется на цифровой фотоаппарат, матрица которого расположена в плоскости 5.

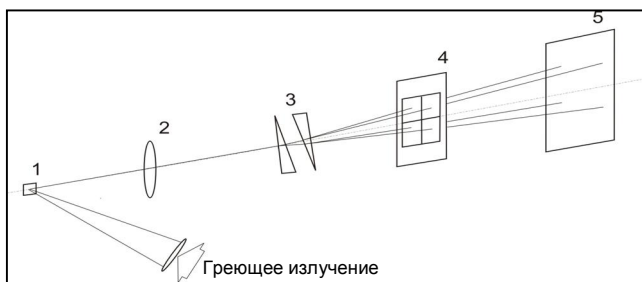


Рис. 1. Оптическая схема регистрации изображения плазмы:

1 — мишень; 2 — широкоугольный объектив; 3 — система поляризационных клиньев; 4 — система интерференционных фильтров; 5 — плоскость изображения

Для получения четырех изображений используется система из поляризационных клиньев, изготовленных из исландского шпата. В каждом из клиньев из-за разницы показателя преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей происходит разделение прошедшего через клин излучения. Клинья расположены так, чтобы на выходе получились четыре изображения плазмы. Для выделения нужного спектрального диапазона используется набор специальных интерференционных светофильтров, полоса пропускания каждого из которых ~20 нм. Система из клиньев рассчитана и съюстирована таким образом, что все четыре изображения плазмы фокусируются в плоскости матрицы цифрового фотоаппарата. Кроме того, изображения разнесены в пространстве так, чтобы они поместились на матрице фотоаппарата размером 15×21 мм<sup>2</sup> без перекрытия.

Таким образом, можно регистрировать изображение плазмы на четырех длинах волн в диапазоне 0,4—1,1 мкм в одном выстреле лазера. В нашем случае регистрируется изображение плазмы в из-

лучении гармоник  $2\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$  и на частоте греющего излучения  $\omega_0$ . Как видно, диапазон длин волн охватывает всю видимую и ближнюю ИК-область.

Обеспечение необходимого пространственного разрешения в широком диапазоне спектра — достаточно сложная задача. Сложность регистрации заключается в том, что в таком диапазоне длин волн существенное влияние на пространственное разрешение оказывают хроматические aberrации оптических приборов.

Для решения этой задачи был разработан специальный широкоугольный объектив. Фокусное расстояние объектива равно 100 мм, относительное отверстие  $d/f = 1/5,8$ . Конструкция объектива рассчитывалась так, чтобы устранить сферические и хроматические aberrации в диапазоне длин волн 0,4—1,1 мкм при передаче изображения с десятикратным увеличением. Расчетное значение пространственного разрешения близко к дифракционному пределу и не превышает 10 мкм по объекту для всех представленных длин волн.

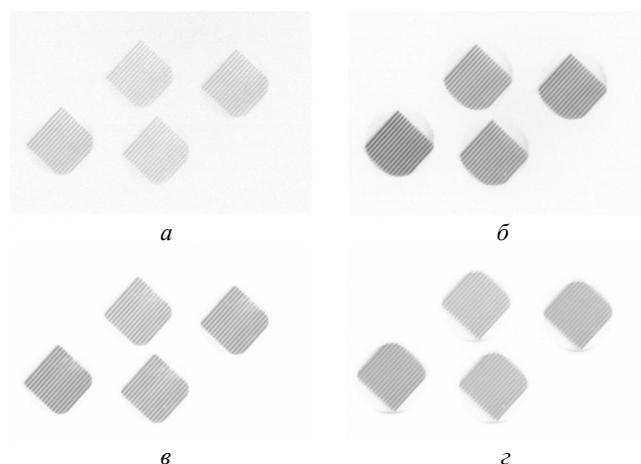


Рис. 2. Изображение мирры, полученное с помощью четырехчастотного микроскопа в длинах волн  $\lambda$ :

а — 1,06 мкм; б — 0,71 мкм; в — 0,53 мкм; г — 0,42 мкм

Для определения действительной разрешающей способности микроскопа штриховую мирру с помощью оптической системы, изображенной на рис. 1, фотографировали в различных длинах волн цифровым фотоаппаратом. Полученные фотографии приведены на рис. 2. Измерения показали, что экспериментально определенное пространственное разрешение на всех используемых длинах волн не хуже 12 мкм, а астigmatизм и хроматические aberrации в заданном диапазоне длин волн отсутствуют. Все четыре изображения, получаемые с помощью микроскопа, эквивалентны и могут быть использованы для регистрации излучения плазмы на любой длине волны из спектрального интервала 0,4—1,1 мкм с сохранением

качества изображения, пространственного разрешения и коэффициента увеличения.

### Калибровка регистрирующего элемента

Для получения количественной информации о процессах, протекающих в плазме, и проведения сравнительного анализа полученных данных была выполнена калибровка регистрирующего элемента (матрицы цифрового фотоаппарата).

Особенность используемого метода калибровки заключается в том, что чувствительность определяется только по фотографии излучения, приходящего на матрицу цифрового фотоаппарата, без снятия дополнительных данных, например напряжения.

В общем случае чувствительность приемника  $S$  определяется как отношение величины сигнала приемника к величине падающей на него энергии излучения [4]. Измерение спектральной чувствительности матрицы основано на использовании источника излучения с известными спектрально-энергетическими характеристиками [5]. Определение спектральной чувствительности матрицы можно разделить на два этапа:

этап 1 — определение величины сигнала матрицы, вызванного падающим на нее излучением с выбранной длиной волны;

этап 2 — расчет спектральной чувствительности матрицы.

Чувствительность матрицы определялась по формуле [6]

$$\frac{1}{S} = \frac{E}{s \cdot I}, \quad E = P \cdot t \cdot T_K,$$

где  $I$  — величина сигнала, отн. ед.;

$E$  — энергия излучения источника, Дж;

$s$  — площадь участка матрицы, засвеченного падающим излучением, см<sup>2</sup>;

$P$  — мощность источника излучения, Вт;

$t$  — время экспозиции, устанавливаемое на фотоаппарате, с;

$T_K$  — суммарный коэффициент пропускания светофильтров, используемых при регистрации излучения, отн. ед.

Для определения величины сигнала полученная фотография прописывается с помощью компьютерной программы обработки и анализа изображений Scion Image. При этом фотография переводится в режим "256 градаций серого". Величина сигнала измеряется в относительных единицах и может принимать значения от 0 до 255. Экспериментально был определен линейный диапазон свет-сигнальной характеристики, который лежит в пределах 0—180.

Из-за особенностей процесса поглощения фотонов различной энергии в матрице цифрового

фотоаппарата [7] сигнал отклика одинаковой величины для разных длин волн достигается при разных значениях энергии излучений на этих длинах волн. Например, для длин волн 1,06 и 0,53 мкм отношение энергий, вызывающих одинаковый сигнал на матрице, составляет  $10^5$  [6].

Кроме того, интенсивности излучения плазмы на частотах гармоник  $2\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$  и на частоте

греющего излучения  $\omega_0$  могут отличаться друг от друга на несколько порядков и меняться в зависимости от условий эксперимента. В этом заключается сложность одновременной регистрации изображения плазмы в четырех заданных длинах волн. Для того чтобы сигналы матрицы для каждой длины волны попадали в линейный диапазон свет-сигнальной характеристики, использовались наборы ослабляющих нейтральных светофильтров для каждого изображения в отдельности.

При проведении измерений были реализованы такие условия регистрации, которые обеспечивали величину шумов, возникающих в матрице, как минимум на порядок меньшую величины измеряемого сигнала, что достигалось изменением интенсивности падающего излучения.

Учитывая, что на матрицу осуществляется регистрация излучения на длинах волн 1,06; 0,71; 0,53; 0,42 мкм, соответствующих излучению гармоник плазмы  $\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $2\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$ , были выбраны

источники излучения с известными спектрально-энергетическими характеристиками. Использовались YAG:Nd-лазеры с длинами волн  $\lambda = 1,064$  и 0,532 мкм, а также светоизмерительная лампа накаливания типа СИ8-200У. При применении лазерных источников спектральный интервал, в котором проводились измерения спектральной чувствительности, определялся шириной линии излучения лазера и составлял  $\sim 10$  Å. Излучающая площадка светоизмерительной лампы накаливания типа СИ8-200У с непрерывным спектром излучения подчиняется закону излучения "серых" тел [8, 9], что и было использовано при расчете мощности и энергии источника. С использованием данного источника излучения измерения проводили на длинах волн 0,707 и 0,424 мкм. Спектральные интервалы ( $\sim 200$  Å) выделялись из непрерывного спектра излучения лампы интерференционными фильтрами. В результате проведенной калибровки была определена спектральная чувствительность матрицы цифрового фотоаппарата, которая имеет следующие значения:

для длины волны 1,06 мкм —  
 $2 \cdot 10^{-6}$  Дж/(см<sup>2</sup>·отн. ед.);

0,71 мкм —  $9 \cdot 10^9$  Дж/(см<sup>2</sup>·отн. ед.); 0,53 мкм —  $3 \cdot 10^{11}$  Дж/(см<sup>2</sup>·отн. ед.); 0,42 мкм —  $7 \cdot 10^{11}$  Дж/(см<sup>2</sup>·отн. ед.).

### Использование четырехчастотного поляризационного микроскопа в экспериментах по взаимодействию излучения лазера на Nd-стекле с веществом

Разработанный четырехчастотный поляризационный микроскоп использован в экспериментах по взаимодействию интенсивного лазерного излучения с веществом.

В качестве греющего источника излучения был использован лазер "Канал-2" на Nd-стекле со следующими параметрами: длина волны излучения 1,06 мкм, длительность импульса  $\tau_{im}$  — 2,5 нс, энергия импульса  $E_L$  (50—100) Дж, плотность мощности излучения  $10^{13} \div 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> [10].

С помощью микроскопа было изучено распределение интенсивности свечения плазмы в четырех спектральных диапазонах, соответствующих гармоникам, генерируемым в плазме. Были использованы малоплотные микроструктурированные мишени из триацетата целлюлозы (ТАЦ) [11] и меди.

На рис. 3 представлены фотографии изображения плазмы в излучении на длинах волн 1,06, 0,71, 0,53, и 0,42 мкм, полученные с помощью четырехчастотного поляризационного микроскопа для ТАЦ-мишени с плотностью 9 мг/см<sup>3</sup> и толщиной 400 мкм, а соответствующие им пространственные распределения интенсивности излучения приведены на рис. 4.

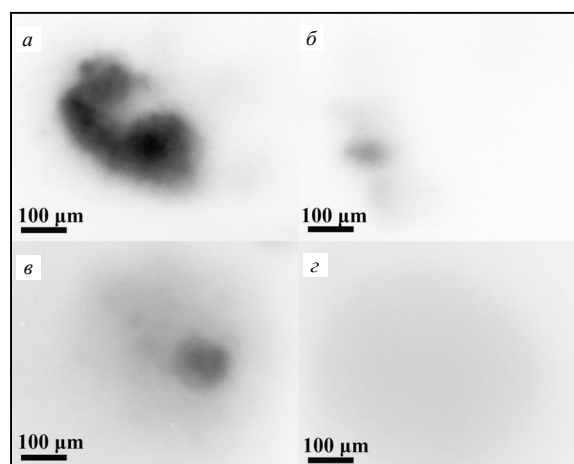


Рис. 3. Фотографии плазмы ТАЦ-мишени, сделанные с помощью микроскопа в излучении на длинах волн: а — 1,06 мкм; б — 0,53 мкм; в — 0,71 мкм; г — 0,42 мкм

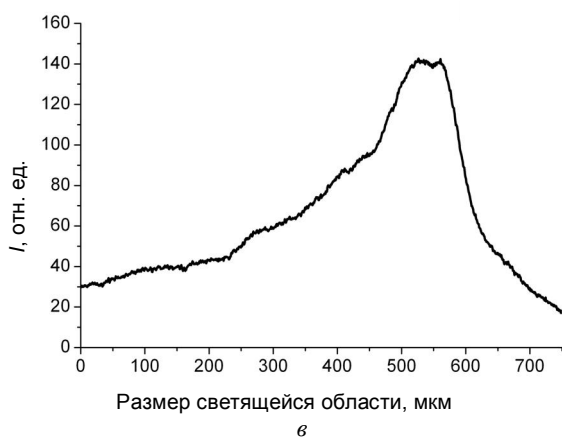
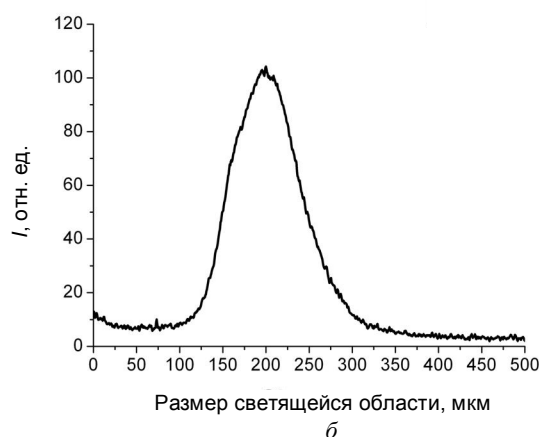
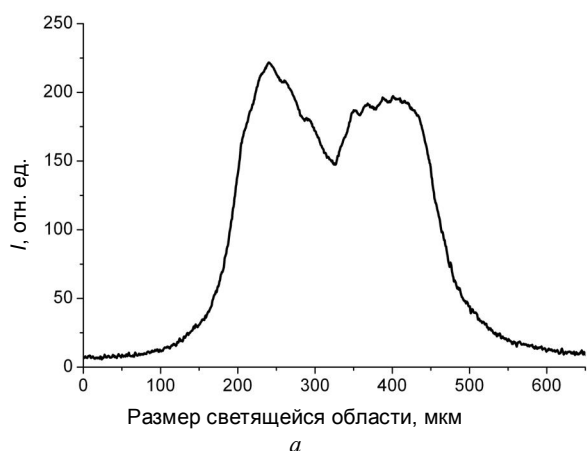


Рис. 4. Пространственное распределение интенсивности излучения плазмы для ТАЦ-мишени на длинах волн: а — 1,06 мкм; б — 0,707 мкм; в — 0,53 мкм; г — 0,424 мкм

Используя фотографии плазмы в излучении на частотах гармоник, полученных с помощью поляризационного микроскопа, можно определить размер светящейся области плазмы. Зная размер светящейся области, абсолютную спектральную чувствительность и сигнал приемника, можно оценить количество энергии, излученной на данной частоте в телесный угол канала регистрации. Таким образом, было установлено, что на частоте  $\omega_0$  из плазмы излучается энергия  $\sim 2,8 \cdot 10^{-6}$  Дж; на частоте  $2\omega_0$  —  $\sim 3,1 \cdot 10^{-11}$  Дж; на частоте  $\frac{3}{2}\omega_0$  —  $\sim 1,5 \cdot 10^{-9}$  Дж, а на частоте  $\frac{5}{2}\omega_0$  —  $\sim 2,6 \cdot 10^{-10}$  Дж.

Если учесть результаты, полученные при изучении диаграммы рассеянного плазмой излучения, которые свидетельствуют о том, что рассеяние излучения на частоте второй гармоники происходит диффузно в пространстве [12, 13], то можно оценить количество энергии, рассеянной на частоте  $2\omega_0$  в пространственный угол  $2\pi$ , которое составляет  $\sim 1,1 \cdot 10^{-8}$  Дж.

При энергии греющего излучения 17,8 Дж коэффициент трансформации греющего излучения в плазме во вторую гармонику составил  $\sim 1,7 \cdot 10^{-12}$  в телесный угол канала регистрации  $1,76 \cdot 10^{-2}$  Ср для мишени из триацетат целлюлозы с плотностью  $9 \text{ мг/см}^3$  и толщиной 400 мкм.

С учетом диффузности излучения второй гармоники коэффициент трансформации в нее греющего излучения в телесный угол  $2\pi$  составляет  $\sim 6 \cdot 10^{-10}$ . Коэффициенты трансформации греющего излучения в гармоники  $\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$  в телесный угол канала регистрации  $\sim 1,6 \cdot 10^{-7}$ ,  $\sim 8 \cdot 10^{-11}$  и  $\sim 1,5 \cdot 10^{-11}$ , соответственно.

Для сравнения приведем данные, полученные для твердотельной мишени из меди с использованием представленного диагностического метода. Выявлено, что на частоте  $\omega_0$  излучается энергия  $\sim 1,8 \cdot 10^{-5}$  Дж, на частоте  $2\omega_0$  —  $\sim 1,8 \cdot 10^{-10}$  Дж, на частоте  $\frac{3}{2}\omega_0$  —  $\sim 6,6 \cdot 10^{-9}$  Дж, а на частоте  $\frac{5}{2}\omega_0$  —  $\sim 2,6 \cdot 10^{-10}$  Дж. При энергии греющего излучения 71 Дж коэффициент трансформации греющего излучения в плазме во вторую гармонику составил  $\sim 2,5 \cdot 10^{-12}$  в телесный угол канала регистрации для твердотельной мишени из меди, а в телесный угол  $2\pi$  составляет  $\sim 9 \cdot 10^{-10}$ .

Коэффициенты трансформации греющего излучения в гармоники  $\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$  в телесный угол канала регистрации составляют  $\sim 2,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $\sim 9,3 \cdot 10^{-11}$  и  $\sim 3,7 \cdot 10^{-12}$ , соответственно. Итак, вид-

но, что энергия рассеянного излучения, зарегистрированная в телесном угле диагностического канала, больше для твердотельной мишени, чем для ТАЦ-мишени.

Генерация гармоник указывает на развитие в лазерной плазме нелинейных оптических процессов. Вблизи области с плотностью, равной четверти критической, частота лазерного излучения в два раза больше электронной ленгмюровской, и возможно развитие параметрической неустойчивости, связанной с возбуждением лазерным излучением двух плазмонов с частотами  $\frac{1}{2}\omega_0$ . Взаимодействие этих плазмонов с лазерным излучением приводит к генерации излучения на частотах  $\frac{1}{2}\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$  [14—18]. При этом надо иметь в виду, что развитие неустойчивости вынужденного комбинационного рассеяния в этой же области плазмы приводит к прямой генерации гармоник  $\frac{1}{2}\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$  в виде стоковой и антистоковой компоненты рассеяния. Но поскольку размер неоднородности плазмы оказывает большее влияние на порог неустойчивости [19], генерацию дробных гармоник связывают с неустойчивостью двухплазменного распада.

Процесс генерации второй гармоники связан с возбуждением в лазерной плазме вблизи критической плотности интенсивных продольных электронных ленгмюровских колебаний, возникающих либо из-за линейной трансформации лазерного излучения [20], либо в связи с развитием в плазме параметрических неустойчивостей [21]. Поскольку частота плазменных волн оказывается близкой к частоте греющего излучения, то последующее взаимодействие плазменных колебаний друг с другом или с волной накачки приводит к генерации излучения на удвоенной частоте [22—26].

Теоретическая оценка величины коэффициента трансформации греющего излучения во вторую гармонику, проведенная на основе формулы (6,а) из [26] в предположении, что этот процесс обусловлен линейной трансформацией, дает величину  $10^{-6}$ , которая существенно превосходит зарегистрированную величину интенсивности гармоники. Однако это противоречие находит свое естественное объяснение, поскольку использованное оборудование не позволяло регистрировать излучение, распространяющееся в апертуру греющего излучения. С другой стороны, это противоречие прямо указывает на то, что наблюдаемое излучение на частоте второй гармоники, так называемая диффузная компонента, полностью обусловлено раз-

витиём параметрической турбулентности в области критической плотности плазмы.

### Заключение

Дано описание конструкции разработанного четырехчастотного поляризационного микроскопа для регистрации изображения плазмы в диапазоне длин волн 0,4—1,1 мкм с пространственным разрешением не хуже 12 мкм. Приведена эффективность использования такого микроскопа в экспериментах по воздействию излучения лазера на Nd-стекле на мишень и даны результаты исследований плазмы малоплотных мишеней из триацетат целлюлозы и меди. Определены коэффициенты трансформации лазерного излучения в гармоники  $\omega_0$ ,  $2\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$ , генерируемые в плазме.

*Выражаем благодарность Юрию Александровичу Меркульеву и Наталии Глебовне Борисенко за предоставленные мишени из триацетат целлюлозы.*

*Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 07-02-01407.*

### Литература

1. Басов Н. Г., Михайлов Ю. А., Склизов Г. В., Федотов С. И. Лазерные термоядерные установки // Итоги науки и техники: Радиотехника. — М.: ВИНТИ. 1984. Т. 25.
2. Валуев А. Д., Васин Б. Л., Круглов Б. В. и др.: Тр. ФИАН. — М.: Наука, 1987. Т. 178. С. 156.
3. Басов Н. Г., Захаренков Ю. А., Рупасов А. А., Склизов Г. В., Шиканов А. С. Диагностика плотной плазмы/Под ред. Н. Г. Басова. — М.: Наука, 1989.
4. Справочник по лазерной технике/Под ред. проф. А. П. Напартовича. — М.: Энергоатомиздат, 1991.

5. Справочник по инфракрасной технике/Под ред. У. Волф, Г. Цисс. — М.: Мир. 1999. Т. 3.

6. Васин Б. Л., Малькова С. В., Осипов М. В., Пузырев В. Н., Саакян А. Т., Стародуб А. Н., Федотов С. И., Фроня А. А.: Препринт/ФИАН. № 18. — М.: ФИАН. 2007.

7. Пресс Ф. П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. — М.: Радио и связь, 1991.

8. Эпитейн М. И. Измерения оптического излучения в электронике. — М.: Энергоатомиздат, 1990.

9. Справочник конструктора оптико-механических приборов/Под ред. В. А. Панова. — Л.: Машиностроение, 1980.

10. Fedotov S. I., Feoktistov L. P., Osipov M. V., Starodub A. N. // Journal of Russian Laser Research. 2004. V. 25. No. 1. P. 79.

11. Borisenko N. G., Merkuliev Yu. A., Gromov A. I. // Moscow Phys. Soc. 1994. V. 4. No. 3. P. 47.

12. Fronya A. A., Charelshvili D. B., Osipov M. V., Puzyrev V. N., Sahakyan A. T., Starodub A. N., Vasin B. L., Yakushev O. F. // 30th European Conference on Laser Interaction with Matter. — Darmstadt. 2008. P. 43.

13. Даниелян Г. Л., Осипов М. В., Пузырев В. Н., Саакян А. Т., Стародуб А. Н., Федотов С. И., Фроня А. А. // Прикладная физика. 2008. № 4. С. 53.

14. Силин В. П., Стародуб А. Н.: Тез. докл. Советско-французский семинар по высокочастотным методам нагрева плазмы. — Л., 1974. С. 17.

15. Силин В. П., Стародуб А. Н. // ЖЭТФ. 1977. Т. 73. № 3(9). С. 884.

16. Гусаков Е. З. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. № 22. С. 1219.

17. Стародуб А. Н., Филиппов М. В. // Физика плазмы. 1979. Т. 5. № 5. С. 1090.

18. Быченков В. Ю., Силин В. П., Тихончук В. Т. // Там же. 1977. Т. 3. № 6. С. 1314.

19. Силин В. П., Стародуб А. Н. // ЖЭТФ. 1974. Т. 66. № 1. С. 176.

20. Денисов Н. Г. // Там же. 1956. Т. 31. № 4 (10). С. 609.

21. Силин В. П. Параметрическое воздействие излучения большой мощности на плазму. — М.: Наука, 1973.

22. Ерохин Н. С., Захаров В. Е., Моисеев С. С. // ЖЭТФ. 1969. 56. № 1. С. 179.

23. Виноградов А. В., Пустовалов В. В. // Там же. 1972. Т. 63. № 3 (9). С. 940.

24. Erokhin N. S., Moiseev S. S., Mukhin V. V. // Nuclear Fusion. 1974. No. 14. P. 333.

25. Крохин О. Н., Пустовалов В. В., Рупасов А. А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1975. Т. 22. № 1. С. 47.

26. Басов Н. Г., Быченков В. Ю., Крохин О. Н. и др. // Квантовая электроника. 1979. Т. 6. № 9. С. 1081.

*Статья поступила в редакцию 7 мая 2009 г.*

## Four-frequency polarized microscope for image plasma registration in the 0.4—1.1 $\mu\text{m}$ spectral range

*B. L. Vasin, S. V. Mal'kova, M. V. Osipov, V. N. Puzyrev,  
A. T. Sahakyan, A. N. Starodub, S. I. Fedotov, A. A. Fronya, V. G. Shutyak*  
Lebedev Physics Institute of RAS, 53 Leninsky av., 119991, Moscow, Russia  
E-mail: anna@sci.lebedev.ru

*The optical scheme and design of a four-frequency polarized microscope for plasma image registration in spectral range 0,4—1,1  $\mu\text{m}$  at spatial resolution 12  $\mu\text{m}$  are presented. The effective use of this microscope for investigation of laser-plasma interaction has been demonstrated. The*

*plasma images on harmonic frequencies  $2\omega_0$ ,  $\frac{3}{2}\omega_0$ ,  $\frac{5}{2}\omega_0$  and  $\omega_0$  have been obtained, where  $\omega_0$  corresponds to the frequency of heating radiation. The transformation coefficients of the heating radiation into those harmonics generated in plasma have been determined.*

PACS: 52.38.-r

*Keywords:* laser plasma diagnostics, laser-matter interaction.

---

**Васин Борис Лаврентьевич**, старший науч. сотр.

**Малькова Светлана Владимировна**, аспирантка

**Осипов Михаил Владимирович**, старший науч. сотр.

**Пузырёв Виктор Николаевич**, науч. сотр.

**Саакян Артем Тигранович**, аспирант

**Стародуб Александр Николаевич**, зам. директора отделения

**Федотов Сергей Иванович**, ведущий науч. сотр.

**Фроня Анастасия Андреевна**, аспирантка

**Шутяк Владимир Григорьевич**, зам. начальника ОКБ ФИАН

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

Тел. 8 (499) 135-03-50, факс 8 (499) 783-37-08, E-mail: anna@sci.lebedev.ru