

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535/8

СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ БЫСТРОЛЕТЯЩИХ МИКРОЧАСТИЦ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАСКОПИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИЮ. Б. Базаров^{1,2}, Е. Е. Мешков²

¹«Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»,
607190, г. Саров Нижегородской обл., просп. Мира, 37

²Саровский физико-технический институт
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
607186, г. Саров Нижегородской обл., ул. Духова, 6
E-mail: eemeshkov@gmail.com

Описан метод съёмки микрообъектов с помощью диаскопической проекции. Этот метод позволяет регистрировать микрочастицы размерами примерно более 1 мкм, в том числе быстролетающие.

Ключевые слова: оптическая схема, диаскопическая проекция, микрочастицы, разрешающая способность.

При выходе ударной волны на свободную поверхность конденсированной среды вследствие таких сложных явлений, как откольное разрушение, развитие неустойчивостей на поверхности среды, кавитация, образуется облако летящих микрочастиц. Несмотря на длительную историю изучения этого процесса (см., например, [1, 2]), многие вопросы остаются открытыми. Особый интерес представляют образование и распределение мелких фракций по размерам и скоростям. Решение задачи определения размера, формы и других характеристик быстролетающих (со скоростями до 1 км/с и более) микрочастиц размером порядка 100 мкм и менее с применением микро- или макрофотосъёмки сопряжено со следующими трудностями:

- пространственное разрешение используемых в настоящее время фотоматериалов и многоэлементных матричных фотоприёмников оказывается чаще всего недостаточным;
- для съёмки быстролетающих микрочастиц с очень короткой выдержкой требуется обеспечивать необходимую освещённость объекта;
- при проведении взрывных экспериментов регистрирующая аппаратура может быть повреждена или уничтожена.

В подобных случаях применяется способ оптической регистрации [3], основанный на схеме диаскопической проекции [4, 5], когда источник света, микрообъект, объектив и фотоприёмник изображения (фотоматериал, ПЗС- или КМОП-матрица) последовательно располагаются на одной оптической оси, причём регистрируемый объект (например, микрочастица или облако микрочастиц) размещается перед объективом в промежутке от одного до двух фокусных расстояний, а фотоприёмник — в сопряжённой плоскости в удалении от объектива (рис. 1). При таком расположении объекта, объектива и фотоприёмника увеличенное изображение микрочастиц формируется в плоскости проекции. Короткие выдержки могут быть получены за счёт использования импульсного источника света или затвора в фотоприёмном устройстве. В настоящее время существуют импульсные лазеры с очень коротким временем излучения ($\sim 10^{-12}$ с). Импульс света с такой длительностью

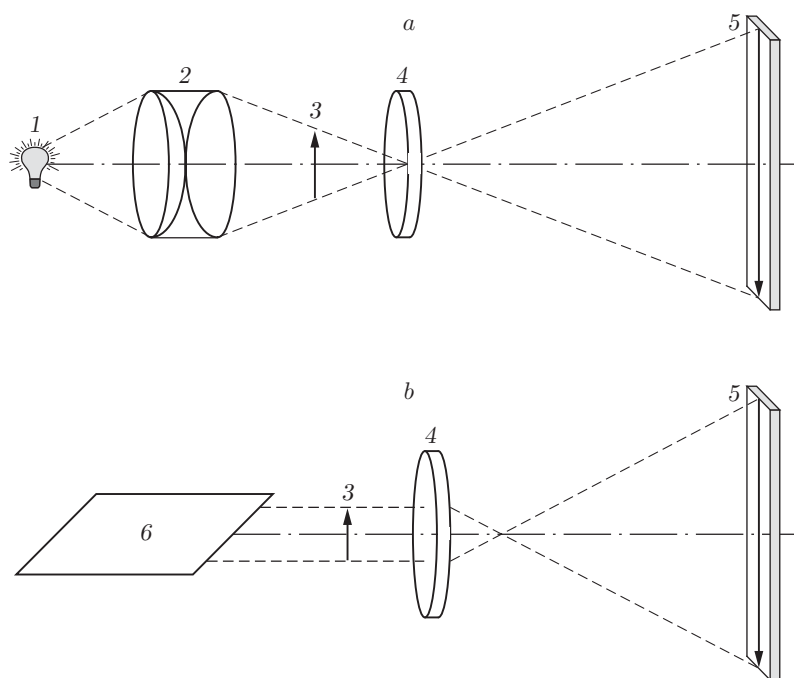


Рис. 1. Схема диаскопической проекции для получения изображения микро-частиц с использованием источника света: *a* — в виде лампы-вспышки, *b* — в виде лазера

позволяет надёжно, без «смазывания» получать изображения частиц, летящих со скоростями 1 км/с и более.

В качестве осветительной системы (рис. 1, *a*) может быть использована, например, лампа накаливания (как при кинопроекции) или лампа-вспышка 1 в сочетании с конденсором 2. Изображение микрообъекта 3 строится в плоскости проекции 5 с помощью проекционного объектива 4. Микрообъект располагается на оптической оси перед объективом в промежутке между первым и вторым фокусом. Линейное увеличение системы задаётся условиями эксперимента, проекционное расстояние выбирается с учётом требований безопасности (в случае проведения взрывного эксперимента). Фокусное расстояние основного проекционного объектива определяется по известной формуле

$$f' \approx \frac{p'}{1 - \beta_{об}}, \quad (1)$$

где p' — проекционное расстояние от выходного зрачка объектива до плоскости изображения; $\beta_{об}$ — линейное увеличение [4, 5].

Осветительная система на базе конденсора 2 формирует изображение источника света 1 в плоскости входного зрачка основного объектива. Конденсор подбирается путём светоэнергетического расчёта. Освещение исследуемого объекта лучом лазера, пучком параллельных или слабо расходящихся лучей света, организованных с помощью коллиматора (рис. 1, *b*), позволяет разнести на большие расстояния источник света и объект съёмки. В этом случае сечение лазерного пучка 6 соответствует полю зрения оптической системы и не превосходит характерного размера объекта, представляющего, например, облако микрочастиц. В отличие от схемы с конденсором, в которой расстояние от источника света до конденсора является фиксированным, лазер может располагаться на значительном расстоянии от объектива, что оказывается полезным в случае регистрации взрывных и подобных процессов.

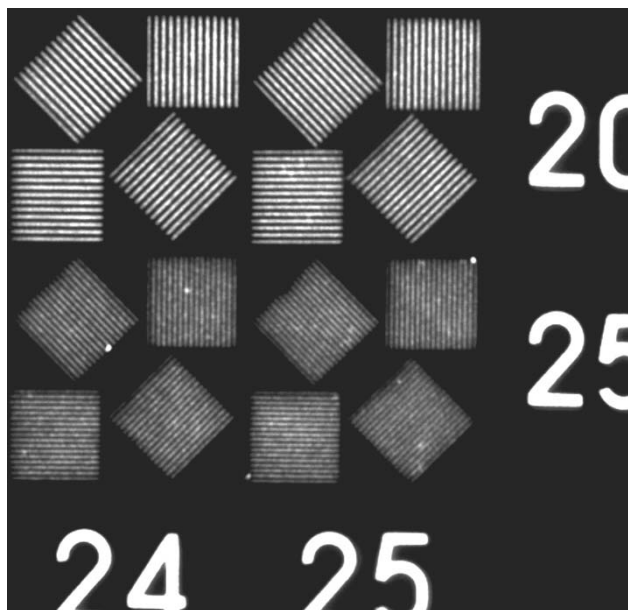


Рис. 2. Фрагмент изображения миры размером 1×1 мм, полученного с помощью лазерного источника света по схеме рис. 1, *b* (линейное увеличение ~ 16 раз)

Оценка разрешающей способности проводилась с помощью миры размером 1×1 мм, содержащей 186,0 пар лин/мм (мира 25 на рис. 2). Все линии миры имеют пространственное разрешение не хуже 5 мкм. Оба варианта схемы на рис. 1 проверялись также путём получения изображений неподвижных капель воды и твёрдых частиц размером меньше 100 мкм. Как показывает опыт, надёжно регистрируются частицы размером более 5 мкм.

Данная схема применялась для исследования частиц, выбрасываемых со свободной поверхности образца металла при выходе на неё ударной волны, создаваемой взрывом заряда [6]. Регистрация изображения микрочастиц в эксперименте осуществлялась скоростной видеокамерой "SensiCam" по оптической схеме, приведённой на рис. 1, *b*. В качестве подсветки использовался полупроводниковый лазер ИПЛЭН «ОИГ 50» с энергией светового импульса не менее 200 мДж и длительностью 5 нс. Полученная фотография представлена на рис. 3. Линейное увеличение равно 1,7. Диаметр масштабной проволоочки 130 мкм,

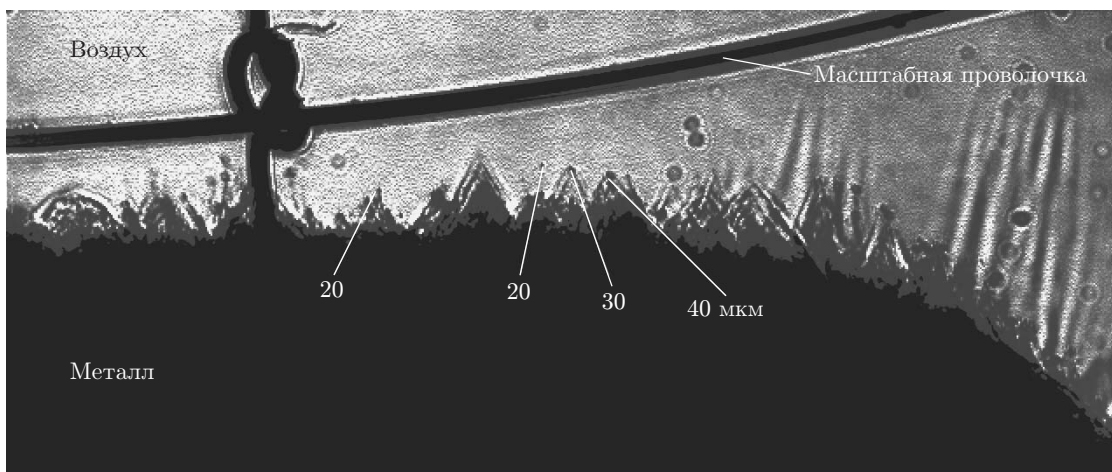


Рис. 3. Изображение микрочастиц, выбрасываемых со свободной поверхности металла при выходе на неё ударной волны [6]

реальный размер приведённого фрагмента области регистрации $2,3 \times 5,2$ мм. Размер визуально различимых частиц составляет 20–40 мкм.

Модификация метода диакопической проекции позволяет осуществлять оптическую регистрацию микрочастиц, в том числе быстролетящих. В данной работе экспериментально показано, что такая оптическая схема регистрации обеспечивает разрешение не хуже 5 мкм. Использование этой схемы позволило зарегистрировать микрочастицы размерами 20–40 мкм, выбрасываемые со свободной поверхности образца металла ударной волной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кедринский В. К.** Гидродинамика взрыва: эксперимент и модели. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 435 с.
2. **Огородников В. А., Михайлов А. Л., Бурцев В. В. и др.** Регистрация выброса частиц со свободной поверхности ударно-нагруженных образцов // ЖЭТФ. 2009. **136**, вып. 3(9). С. 615–620.
3. **Пат. 107379 РФ.** Система оптической регистрации /Ю. Б. Базаров, Е. Е. Мешков. Оpubл. 10.08.2011, Бюл. № 22.
4. **Апенко М. И., Дубовик А. С.** Прикладная оптика. М.: Наука, 1971. 392 с.
5. **Бегунов Б. Н.** Геометрическая оптика. М.: Изд-во МГУ, 1966. 210 с.
6. **Базаров Ю. Б., Глушихин В. В., Калашник И. А. и др.** О возможности получения изображения микрочастиц в оптическом диапазоне методом диакопической проекции // Тр. XII Междунар. науч.-техн. конф. «Оптические методы исследования потоков». М.: НИУ «МЭИ», 2013. [CD-ROM. ISBN 978-5-91940-663-1].

Поступило в редакцию 6 марта 2014 г.
