

УДК 539.1.044,535-34

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО ИСПАРЕНИЯ ИОДИДА ЦЕЗИЯ НА ИСТОЧНИКЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЭПП-3

© 2019 г. А. Г. Лемзяков¹, *, В. В. Лях¹, Б. Г. Гольденберг¹, В. П. Назьмов¹, Е. А. Козырев¹

¹Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, Новосибирск, Россия

*E-mail: A.G.Lemzyakov@inp.nsk.su

В рентгеновской микроскопии толщина и структура сцинтилляционных экранов играет очень важную роль. Толщина сцинтиллятора должна быть достаточной для обеспечения максимальной трансформации рентгеновских квантов в видимый диапазон электромагнитного излучения. С другой стороны, рассеяние света в сцинтилляторе приводит к значительному ухудшению пространственного разрешения получаемых рентгеновских изображений. Для улучшения разрешения можно использовать структурирование слоя CsI:Tl на матрицу микропикселей за счет ограничения распространения света в соседние ячейки. В данной работе исследуется радиационно-индуцированная абляция CsI:Tl на источнике синхротронного излучения (СИ) как новый способ структурирования сцинтилляционных экранов.

DOI: 10.1134/S0367676519020200

ВВЕДЕНИЕ

Один из методов увеличения пространственного разрешения сцинтилляционных экранов с сохранением их чувствительности заключается в их структурировании, а именно в разбиении сцинтилляционного экрана на отдельные ячейки, оптически не связанные между собой. Существуют различные методы получения таких экранов, например, метод, заключающийся в создании матрицы ячеек и последующем заполнении их люминофором [1]. Недостатком этого метода является сложность заполнения ячеек с большим аспектным отношением. Также известен метод, заключающийся в разделении сцинтилляционного слоя на пиксели посредством лазерной абляции [2]. Его недостатком является ограниченная производительность. Такие экраны обычно имеют не больше 20×20 ячеек. Поскольку все эти методы имеют свои недостатки, создание новых методов структурирования сцинтилляционных экранов является актуальной задачей.

Ранее изучена радиационно-индуцированная абляция некоторых материалов под действием рентгеновского излучения, предварительно нагретых до определенной температуры. Так можно формировать профиль в слоях оксида и нитрида кремния [3]. В работе [4] вышеуказанным методом на источнике синхротронного излучения (СИ) AURORA (Япония) в кристалле хлорида натрия были получены микроструктуры с глубиной 1 мм и аспектным отношением 50. Поскольку

ионные кристаллы хлорида натрия и иодида цезия обладают довольно близкими физическими характеристиками, в частности, температура при давлении насыщенных паров 1 Па составляет 653 и 523°C соответственно [5], было предложено использовать вышеуказанный подход для получения высокоаспектных микроструктур в сцинтилляционных кристаллах иодида цезия, допированного таллием (CsI:Tl) на источнике СИ ВЭПП-3.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Для экспериментального изучения абляции использовались монокристаллы CsI:Tl размером 15×15 мм и толщиной 4 мм, полированные с одной стороны. Образцы располагались на медном держателе, нагретом до фиксированной температуры и облучались синхротронным излучением через щель шириной 100 мкм и длиной 20 мм, ориентированную перпендикулярно медианной плоскости, причем щель несимметрично расположена относительно медианной плоскости по вертикальной оси. Ножи щели выполнены из листа тантала толщиной 2 мм, что минимизирует облучение в теневых областях.

Облучение проводилось на канале “0” вывода излучения из источника СИ ВЭПП-3 [6, 7]. Энергия электронов в накопителе составляла 2 ГэВ, магнитное поле в точке излучения 2 Тл, расстояние от источника СИ до экспериментального объема 19 м, ток электронов варьировался в диапазоне 60–100 мА.

Экспериментальный объем, в котором проводили облучение, отделен от источника СИ бериллиевыми фольгами общей толщиной 100 мкм. Спектр излучения приведен на рис. 1. Вследствие распределения мощности падающего СИ в направлении, перпендикулярном медианной плоскости, мощность излучения вдоль щели меняется. Расчетное распределение мощности вдоль щели приведено на рис. 2.

Доза облучения была задана одинаковой для всех образцов и составляла $14.9 \text{ кДж} \cdot \text{см}^{-2}$ падающего излучения в медианной плоскости.

Образцы облучались через щель при разных температурах держателя, значения которой для разных образцов составляли 440, 420, 410, 400, 390 и 380°C .

Полученные микроструктуры исследовали в сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N и в оптическом микроскопе VHX-6000. Распределение глубины профиля, полученного на фронтальной полированной стороне образцов иодида цезия, было измерено с помощью интерференционного микроскопа МНП-2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На всех образцах в облучаемой области наблюдается удаление материала, причем дно получившегося профиля оплавлено (рис. 3). При температурах держателя 440 и 420°C удаление иодида цезия произошло не только в области попадания прямого пучка на образец, но и в области оптической тени. При этом на всех образцах угол наклона боковой стенки, совпадающей с границей зоны облучения, близок к 90 градусам.

Для объяснения наблюдаемого явления абляции, измеренная глубина профиля в зависимости от координаты вдоль щели сопоставлена с распределением падающей мощности СИ (рис. 4). Наблюдается хорошая корреляция глубины с падающей мощностью, причем скорость удаления материала не зависит от спектра излучения, по крайней мере, в указанном диапазоне спектра.

Зависимость глубины профиля от координаты для разных образцов приведена для сравнения на графике (рис. 5). Максимальная достигнутая глубина составила 50 мкм при длительности облучения 84 мин , что дает максимальную среднюю скорость абляции около $0.6 \text{ мкм} \cdot \text{мин}^{-1}$. Видно, что глубина коррелирует с длительностью экспозиции и не коррелирует со скоростью набора дозы и температурой держателя.

Результаты расчета температуры на поверхности образца в облученной области по длине щели представлены на рис. 6, как и глубина полученного профиля.

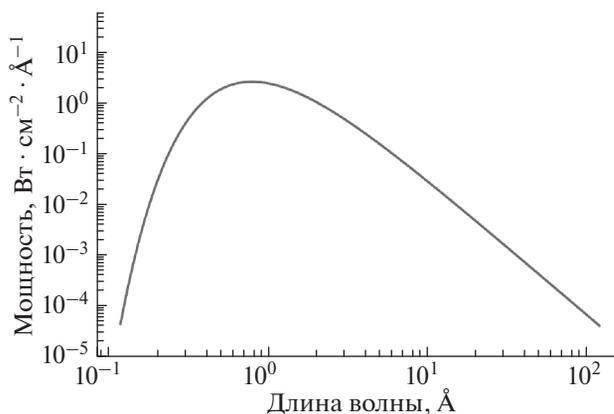


Рис. 1. Расчетная спектральная мощность падающего излучения в экспериментальном объеме в медианной плоскости при токе в накопителе 100 мА.

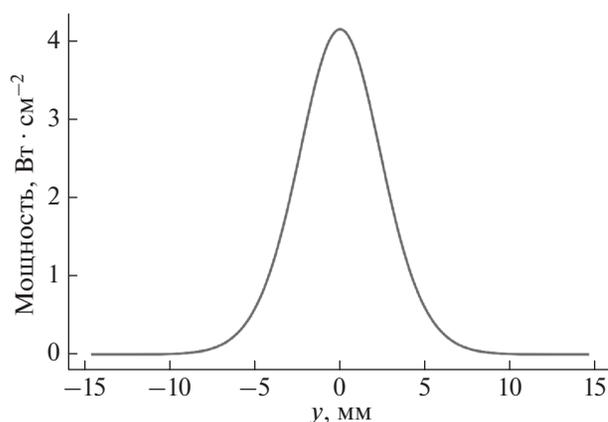


Рис. 2. Расчетное распределение мощности падающего СИ вдоль щели при токе в накопителе 100 мА.

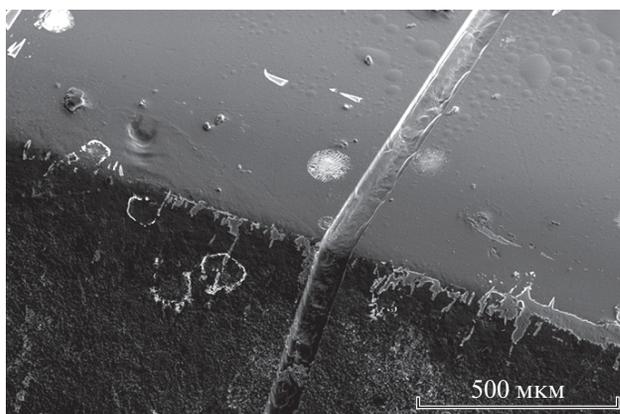


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение участка образца CsI:Tl после облучения через щель. Угол наблюдения 45° .

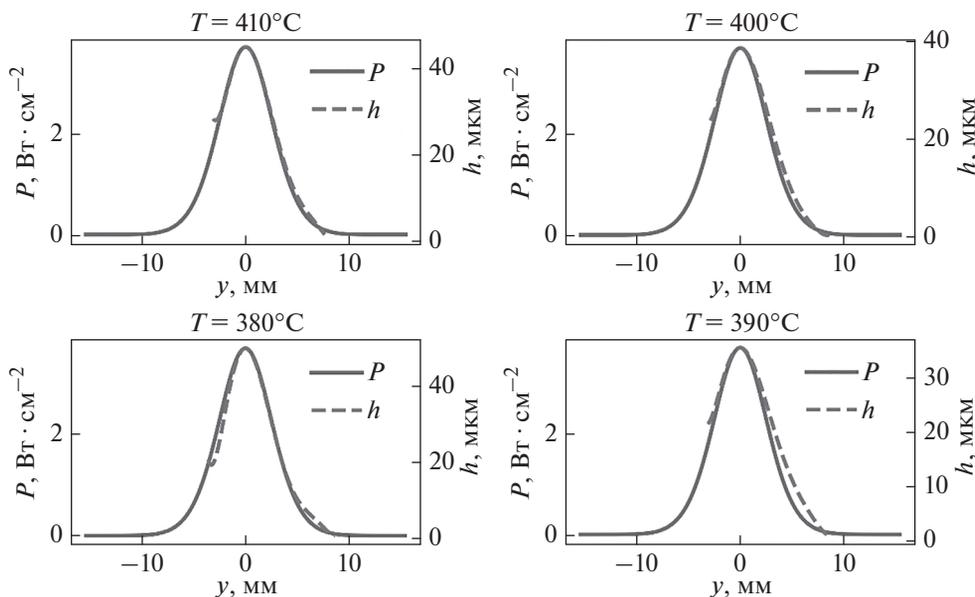


Рис. 4. Распределения глубины профиля h и мощности падающего излучения P от координаты при различной температуре образцов.

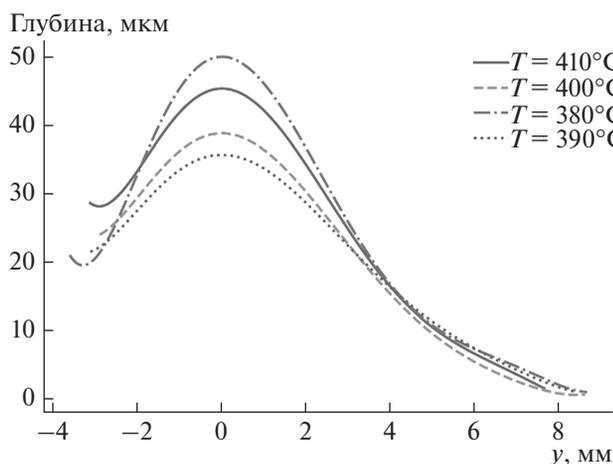


Рис. 5. Измеренное распределение глубины профиля при разных температурах держателя образцов.

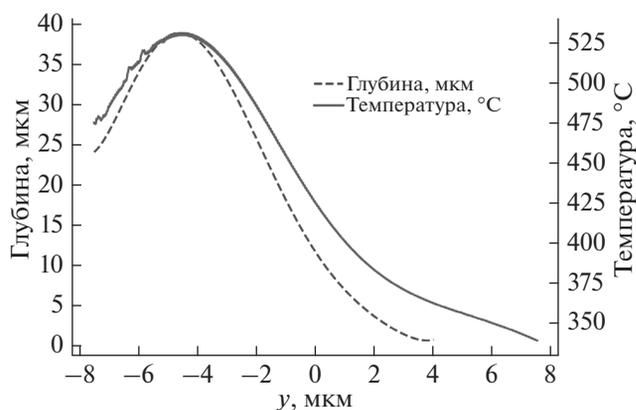


Рис. 6. Распределение глубины полученного профиля и расчетной температуры на поверхности для образца с температурой держателя 400°C .

Из рис. 6 видно, что эффективное удаление материала происходит при температурах, значительно ниже температуры плавления материала при стандартных условиях, поэтому можно сделать вывод о наблюдаемой при вышеуказанных внешних условиях деструкции и удалении материала при одновременном воздействии нагрева и ионизирующего излучения. Для получения детальной информации о процессе предполагается продолжить исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют, что при облучении образцов CsI:Tl синхротронным

излучением высокой мощности происходит процесс термической радиационно-индуцированной абляции. Достигнута скорость удаления материала около $0.6 \text{ мкм} \cdot \text{мин}^{-1}$ в медианной плоскости. Следует отметить, что источник СИ AURORA генерирует мягкое излучение с максимумом излучаемой мощности, лежащим в ультрафиолетовом диапазоне спектра, которое поглощается в приповерхностных моносолях и стимулирует десорбцию материала из них. В противоположность этому, в наших экспериментах глубина поглощения излучения имеет порядок 10 мкм, т.е. фотохимические реакции и фазовое превращение материала протекают в слое соответствующей толщины.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП “СЦСТИ” на базе ВЭПП-3/ВЭПП-4М/НЛСЭ ИЯФ СО РАН, поддержанного Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI62117X0012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kondratiev V.I., Kuzin M.V., Mezentsev N.A. et al.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 2000. V. A448. P. 207.
2. *Sabet H., Kudrolli H., Marton Z. et al.* // SPIE Proc. 2013. V. 8853. P.
3. *Akazawa H., Takahashi J., Utsumi Y. et al.* // J. Vacuum Sci. & Technol. A: Vacuum, Surfaces, and Films. 1991. V. 9. № 5. P. 2653.
4. *Katoh T., Zhang Y.* // Microsyst. Technol. 1998. V. 4. № 3. P. 135.
5. *Ewing C.T., Stern K.H.* // J. Phys. Chem. 1974. V. 78. № 20. P. 1998.
6. *Goldenberg B.G., Lemzyakov A.G., Nazmov V.P., Pindyurin V.F.* // Phys. Proc. 2016. V. 84. P. 205.
7. *Piminov P.A., Baranov G.N., Bogomyagkov A.V. et al.* // Phys. Proc. 2016. V. 84. P. 19.