ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, 2020, № 5, с. 92–95

_ ОБЩАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ____ ТЕХНИКА ____

УДК 621.32

ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ С ОГРАНИЧЕНИЕМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАЗРЯДА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И ИНИЦИИРОВАНИЯ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2020 г. С. И. Герасимов^{*a,b,c,d,**}, В. И. Ерофеев^{*c,d*}, В. А. Кикеев^{*c,d*}, В. А. Кузьмин^{*a,b,d*}, К. В. Тотышев^{*b*}, Е. Г. Косяк^{*a*}, П. Г. Кузнецов^{*a*}, Р. В. Герасимова^{*a*}

^а Саровский физико-технический институт филиал Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ" Россия, 607186, Саров Нижегородской обл., ул. Духова, 6 ^b Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ экспериментальной физики Россия, 607190, Саров Нижегородской обл., просп. Мира, 37 ^c Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева Россия, 603950, Н. Новгород, ул. Минина, 24 ^d Институт проблем машиностроения РАН Россия, 603024, Н. Новгород, ул. Белинского, 85 *e-mail: s.i.gerasimov@mail.ru Поступила в редакцию 31.01.2020 г. После доработки 12.03.2020 г. Принята к публикации 13.03.2020 г.

Описана конструкция газоразрядного излучателя, реализованного путем ограничения распространения разряда в узком зазоре между двумя прозрачными эквидистантными поверхностями, с воздухом в качестве рабочего газа, с параметрами: пиковая яркость 6.2 Мсб, тело свечения 18 см² (при энергии разряда 75 Дж), длительность по полуширине ~2 мкс. Данная схема может применяться в решении широкого класса задач, например, связанных с фотограмметрическими измерениями в аэробаллистических испытаниях, также при создании импульсных нагрузок при инициировании детонации протяженного слоя светочувствительного энергонасыщенного материала.

DOI: 10.31857/S0032816220040266

В практике теневых методов с оптическим построением изображения применяются различные конструкции источников света с фиксированным положением излучателя. Помимо стандартных капиллярных искровых разрядников, известна схема с искровым разрядом между прозрачными пластинами [1]. Такой источник света в качестве лампы-вспышки, когда оптическая ось направлена не параллельно пластинам, а перпендикулярна им, позволяет реализовать интенсивный плоский излучатель, который для ряда приложений оказывается эффективней стандартных импульсных трубчатых кварцевых ламп для фотографии [2].

Особенность такой конструкции заключается в том, что оптимальные светотехнические параметры излучателя легко подбираются изменением геометрии под параметры заданного накопителя энергии, что невозможно при использовании лампы с неизменной формой. В отличие от характерного импульса освещенности, создаваемого лампой, с относительно длительным спадом, наличие зазора между пластинами позволяет получить резкий спад светового импульса после прекращения нарастания тока. Для сравнения на



Рис. 1. Изменение освещенности, создаваемой ксеноновой лампой ИФК500 (1) и искровым разрядом между пластинами (2).



Рис. 2. Теневая фотография разлета газа из зазора между пластинами (закрыты черной бумагой) через 25 мкс после разряда.

рис. 1 в относительных единицах показаны сигналы с кремниевого фотодатчика, регистрирующего в линейной области импульсы освещенности, создаваемые стандартной ксеноновой лампой ИФК500 (кривая *I*) и плоским излучателем (кривая *2*) при использовании накопителя с энергией разряда 75 Дж и рабочим напряжением 30 кВ.

Отличие в амплитудах объясняется существенной разницей в площади излучения. Для ИФК500 форма светящейся части — спираль Ø10 и длиной 60 мм. Для разряда между пластинами с зазором 0.1-0.15 мм оптимальная интенсивно излучающая область при данном разрядном контуре представляет собой овал шириной 20 мм при расстоянии 90 мм между остриями катода и анода. Увеличение площади излучения по сравнению с лампой происходит за счет высокой скорости ударной волны при устранении разгрузки в одном направлении. Скорость ударной волны совпадает со скоростью расширения канала при пробое, и ее максимальное значение составляет $D \approx (di/dt)^{0.5} \delta^{0.25} \Delta^{-0.5} \rho^{-0.25}$, где di/dt скорость нарастания тока, δ – удельное сопротивление разряда, Δ — ширина зазора между пластинами, ρ — плотность рабочего газа [2].

После окончания ввода энергии в канал происходит резкий спад давления и температуры при свободном расширении. При ширине пластины 40 мм расширяющийся газ вытекает из зазора со сверхзвуковой скоростью (рис. 2). В замкнутом объеме стандартной лампы излучающая в видимом диапазоне плазма остывает значительно медленней, что при фотографировании камерами с открытым затвором приводит к заметному "сма-





Рис. 3. Четыре положения конической модели, движущейся со скоростью ≈ 1.3 км/с на аэробаллистической трассе в зоне регистрации одного из стереопостов: **a** – съемка одной из камер с открытым затвором (f = 50 мм) с расстояния 5 м от оси полета; **б** – увеличенное первое положение модели.

зыванию" изображения при высокой скорости регистрируемого объекта.

Оптимальное расстояние между катодом и анодом в схеме ограничения распространения разряда для данного накопителя превышает пробивные расстояния в воздухе атмосферного давления и поэтому требует того или иного способа создания начальных условий для разряда. Это может быть тонкий слой любого проводящего материала, задающий начальную геометрию разряда по прямой между электродами. При этом напряженность поля максимальна и максимальны для данного накопителя хорошо воспроизводимые светотехнические параметры излучателя. Также для конкретного накопителя можно рассчитать толщину пластины, чтобы отсутствовало разрушение излучателя [3]. На практике это достигается, например, изготовлением передней (излучающей) стенки набором пластин из оргстекла миллиметровой толщины.

Пример использования четырех таких излучателей в составе фотограмметрического стереопоста на базе цифровых камер Canon EOS 5D Mark II (21 Мпикс) представлен на рис. 3.

Помимо плоской геометрии излучателя с ограничением распространения разряда возможно использование эквидистантных изогнутых пла-



Рис. 4. Размещение колпачков с ВС-2: \mathbf{a} – схематичное изображение сборки; \mathbf{o} – ее внешний вид.

стин, что позволяет эффективней использовать данную схему с отражателем для повышения светотехнических параметров. Другим важным результатом использования цилиндрической геометрии излучателя является возможность одновременного инициирования слоя светочувствительного энергонасыщенного состава, расположенного как на вогнутой, так и на выпуклой поверхности нагружаемой конструкции. Применение набора таких одновременно инициируемых зарядов существенно улучшает применяемый газодинамический метод нагружения протяженной конструкции скользящей детонацией тонкого слоя взрывчатого вещества, инициируемого в одной точке [4, 5].

В качестве примера ниже приведено описание инициирования трех детонаторов, содержащих светочувствительный состав ВС-2 [6, 7], расположенных на цилиндрической поверхности. Три латунных колпачка с ВС-2 устанавливались в деревянную оснастку. Схематичное изображение сборки и ее внешний вид представлены на рис. 4. Для инициирования состава ВС-2 использовался газоразрядный излучатель с эквидистантными пластинами из оргстекла толщиной 1 мм, с формами, задаваемыми геометрией испытываемой оснастки (рис. 5). Расстояние от излучающей поверхности до колпачков с ВС-2 составило 6 мм. Использовался разрядный контур одного из импульсных источников света, применяемых для фоторегистрации моделей в аэробаллистическом эксперименте (рис. 3).

Контроль состояния колпачков с ВС-2 осуществлялся с помощью импульсного рентгеновского аппарата (время экспонирования 10 нс), запускаемого с задержкой 10 мкс от подачи команды на запуск источника света. На рис. 6 представлены фрагменты рентгенограмм сборки. С целью улучшения визуального восприятия изображения рентгенограмм, они переведены из полутонового пространства в цветное. Преобразования проводились в среде ImageJ с помощью таблицы преобразования цветов LUT Jet.



Рис. 5. Газоразрядный излучатель с ограничением разряда и сборка с колпачками со светочувствительными составами.

При заданной геометрии и яркостной температуре излучателя выше 11 кК требуемая плотность энергии инициирования в несколько десятков мДж/см² набирается за время нарастания фронта импульса освещенности (≈1.5 мкс). Рент-



Рис. 6. Рентгенограмма сборки: **а** – перед проведением опыта, **б** – полученная в опыте.



Рис. 7. Вид оснастки после опыта.

генограмма состояния сборки, полученная в опыте, показывает, что на момент времени 10.0 мкс от сигнала запуска на разряд накопителя в картине присутствуют развитая фаза процесса разрушения латунных колпачков и движущиеся от каждого из них в сторону излучающей поверхности уплотненные потоки, что свидетельствует об инициировании детонаторов № 1–№ 3, произошедшем до разрушения излучающей поверхности и прихода механических возмущений к сборке. На рис. 7 показаны следы от нагружения оснастки после инициирования детонаторов.

Таким образом, газоразрядный излучатель с ограничением распространения разряда, использующий воздух атмосферного давления вместо дорогостоящего тяжелого инертного газа, эффективен в решении ряда прикладных задач фотограмметрии, механики, требующих коротких интенсивных импульсов излучения оптического диапазона.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-2078.2019.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Физика быстропротекающих процессов. Т. 1 / Перевод под ред. Н.А. Златина. М.: Мир, 1971.
- Герасимов С.И., Файков Ю.И., Холин С.А. Кумулятивные источники. Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИ-ЭФ", 2011.
- 3. Герасимов С.И., Герасимова Р.В., Ерофеев В.И., Кузьмин В.А., Тотышев К.В. // Вестник научно-технического развития. 2018. № 2(126).
- 4. Бакулин В.Н., Острик А.В., Грибанов В.М. Методы оптимального проектирования и расчета композиционных конструкций. Т. 2. М.: Физматлит, 2008.
- 5. Могилев В.А., Новиков С.А., Файков Ю.И. Техника взрывного эксперимента для исследований механической стойкости конструкций. Саров: ФГУП "РФЯЦ–ВНИИЭФ", 2007.
- Gerasimov S.I., Ilushin M.A. // J. Energetic Materials. 2015. V. 12(3). P. 623.
- 7. Герасимов С.И., Илюшин М.А., Кузьмин В.А. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. Вып. 7. С. 66.