

Изготовление сеточных электродов из пиролитического графита для мощных импульсных ЛБВ ультракоротким лазерным излучением

Д.А. Бессонов¹, С.Д. Журавлев², И.А. Попов¹, Г.В. Сахаджи², Т.Н. Соколова¹, Е.Л. Сурменко¹, В.И. Шестеркин²

¹СГТУ им. Ю.А. Гагарина

²АО «НПП «Алмаз»

Аннотация: приведены результаты исследований по применению лазерного излучения с ультракороткой длительностью импульса при изготовлении сеточных электродов из пиролитического графита для мощных импульсных ЛБВО. Представлены параметры лазерной установки и методика лазерной абляции для повышения точности изготовления и повторяемости размеров сеточных структур.

Ключевые слова: лазер, сверхкороткий импульс, сетка, катод, пиролитический графит.

1. Введение

Для низковольтного управления током электронного пучка в электронных пушках импульсных ЛБВО используют сеточные электроды, размещенные вблизи эмитирующей поверхности импрегнированного термоэмиссионного катода [1]. В мощных ЛБВ используются двойные сеточные структуры, состоящие из теневой и управляющей сеток перемычки, которой размещают в геометрической тени перемычек теневой сетки. Точность совмещения перемычек определяется точностью их изготовления с минимально возможными допусками. Требования к точности изготовления сеточных структур существенно возрастают для приборов миллиметрового диапазона.

В качестве материала сеточных структур используются материалы, обладающие минимальной паразитной термоэлектронной эмиссией при наличии на их поверхности продуктов испарения (Ва и ВаО) с поверхности термоэмиссионного катода. Наиболее перспективным материалом с этой точки зрения является пиролитический графит [2].

Изготовление сеточных структур из пиролитического графита толщиной 50÷100 мкм представляет собой достаточно сложную технологическую задачу. Из-за хрупкости материала обычные способы механической обработки не применимы. Известны способы формирования деталей из пиролитического графита с помощью наложения металлических масок-шаблонов с последующей пескоструйной обработкой [3] и лазерным излучением твердотельного лазера на АИГ с короткими импульсами [4]. Однако использование вышеуказанных методов не применимо для изготовления сеток, ширина перемычек которых сопоставима с ее толщиной [5].

2. Экспериментальная часть

В данной работе исследована возможность применения оборудования с ультракороткими импульсами лазерного излучения для изготовления сеточных электродов из пиролитического графита [6].

Взаимодействие короткого и ультракороткого (наносекундного, пикосекундного и фемтосекундного) лазерного излучения высокой плотности мощности с веществом значительно отличается от воздействия импульсов большей (микросекундной и более) длительности. К моменту окончания сверхкоротких импульсов тепловые и

газодинамические процессы не успевают развиться вглубь материала. Малые размеры зоны диффузии энергии сверхкоротких лазерных импульсов позволяют увеличить точность и пространственное разрешение структур нано - и микроразмерного масштаба. Поверхностная абляция сверхкороткими лазерными импульсами уменьшает влияние экранирующего эффекта абляционной плазмы, которая не успевает развиться за время действия импульса.

В процессе отработки технологии резки пиролитического графита была использована лазерная технологическая установка на базе пикосекундного лазера (длина волны $\lambda = 1064$ нм, длительность импульса $\tau = 10$ пс, энергия в импульсе $E = 40$ мкДж). Далее в процессе описания процессов удаления вещества с поверхности обрабатываемого материала за счет воздействия лазерных импульсов с длительностью порядка $10^{-8} - 10^{-14}$ с и интенсивностью в интервале $10^{10} - 10^{14}$ Вт/см² будет использован термин «лазерное абляционное микрофрезерование».

Лазерное абляционное микрофрезерование, также как и механическое, представляет собой процесс послойного удаления поверхности обрабатываемого материала из объема заготовки в процессе перемещения луча лазера по заданной программой траектории, соответствующей чертежу изготавливаемой детали. За один проход лазерное излучение наносекундной длительности импульса удаляет слой материала глубиной порядка 10^{-5} м, а пикосекундное порядка 10^{-7} м [7, 8].

Детали - заготовки сеток представляли собой чашки из пиролитического графита диаметром цилиндрической части 15 мм, с вогнутой серединой в которой вырезались перемычки сеточной структуры. Плотность мощности в зоне обработки при диаметре пятна лазерного излучения 10 мкм составляла 10^{12} Вт/см². Размер пятна абляционного воздействия обеспечивался объективами с фокусным расстоянием $F = 50$ мм, при этом глубина резкости сфокусированного лазерного излучения составляла ~ 500 мкм. Стрела прогиба в зоне углубления заготовки превышала глубину резкости и составляла ~ 1.49 мм (рис. 1а). При такой стреле прогиба сканирование луча лазера по поверхности заготовки не обеспечивало нахождения фокуса лазерного излучения на поверхности заготовки без применения дополнительного оборудования. Для решения данной проблемы было разработано устройство, позволяющее наклонять заготовку на угол α относительно ее оси симметрии с возможностью ее вращения вокруг оси симметрии (рис. 1б). Для заготовки сетки (рис. 1а) угол наклона составил 17° , что позволило уменьшить значение стрелы прогиба обрабатываемой зоны чашки до 350 мкм.

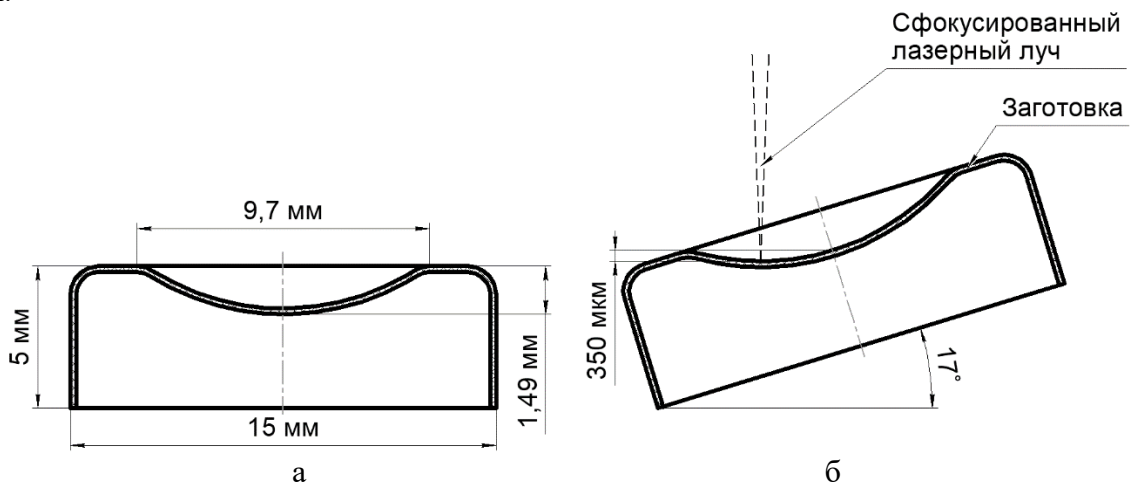


Рисунок 1. Конфигурация заготовки сетки.

Формирование перемычек сетки осуществлялось по программе путем последовательного вырезания сегментов при азимутальном повороте заготовки вокруг

оси симметрии. Сеточная структура с радиально-кольцевыми перемычками (рис.2) имела 24 радиальных перемычек, ограниченных диаметрами $D1 = 9,7$ мм и $D2 = 4$ мм и 8 радиальных перемычек внутри центрального кольца. Ширина радиальных и кольцевых перемычек составляла 125 мкм с шероховатостью краев менее 1 мкм.

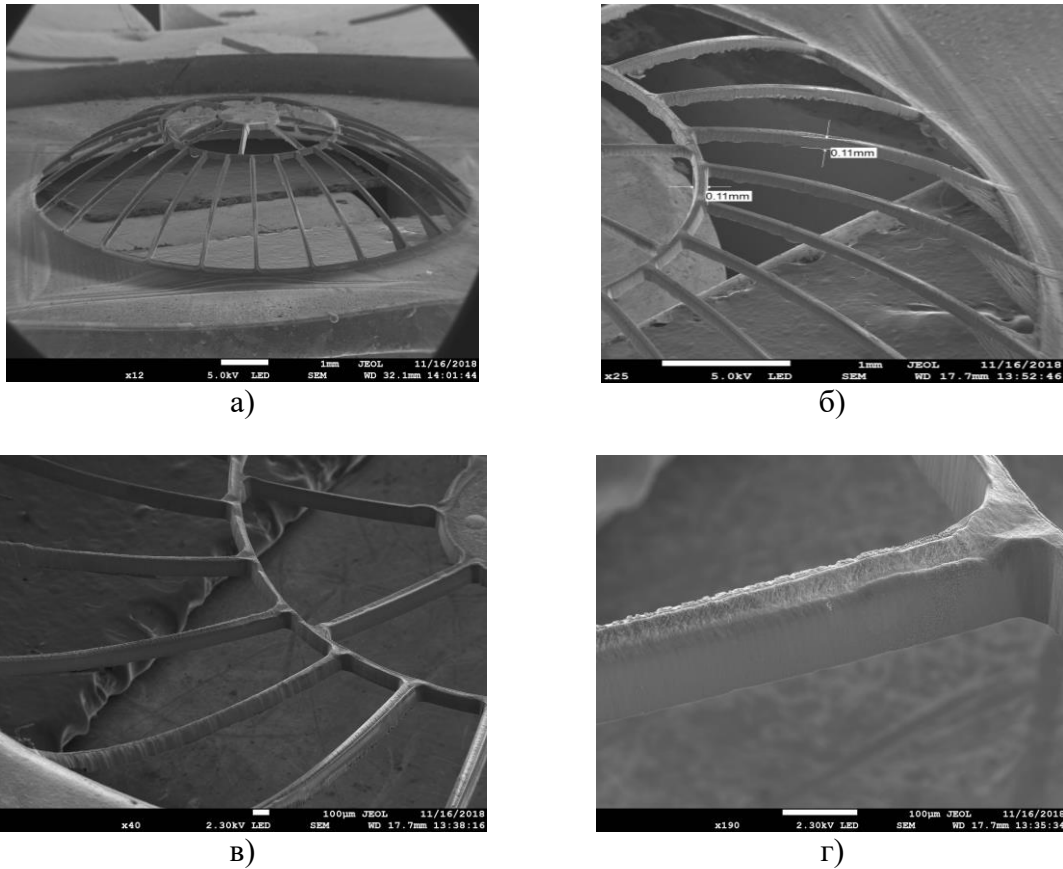


Рисунок 2. Сеточная структура с радиально-кольцевыми перемычками.

3. Заключение

На базе лазерной установки с пикосекундной длительностью импульса (длина волны $\lambda = 1064$ нм, длительность импульса $\tau = 10$ пс, энергия в импульсе $E = 40$ мкДж) разработана технология лазерного абляционного микрофрезерования, позволяющая формировать сеточные структуры из пиролитического графита для мощных импульсных ЛБВ, в том числе для импульсных СВЧ приборов миллиметрового диапазона длин волн. Данная установка позволяет формировать сеточные структуры с произвольной топологией и формой перемычек шириной до 100 мкм и менее с шероховатостью краев менее 1 мкм.

Список литературы

1. Ю.А. Григорьев., Б.С. Правдин., В.И. Шестеркин. // Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1987. Вып. 7(1246). М.: Изд-во ЦНИИ Электроника. 71 с.
2. Smith W.H. Pyrolytic graphite / W.H. Smith, D.H. Leeds // Modern materials. 1970. № 7. P. 139.
3. Заявка 2276681 Франция, МКИН01 j 1/46. Lagrille pour une tube / G. Pierre, B. Gilles. Thomson-CSF (Франция). № 7422686; Заявлено 28.06.74; Оpubл. 23.01.76.]
4. О.А. Трофимова, Т.Н. Соколова, Г.В. Конюшков Формирование отверстий в пирографите излучением лазера на АИГ // Вестник СГТУ. 2006г. № 3(14). Выпуск 1. Изд-во СГТУ. С. 121–128
5. Е.Ю. Локтионов, А.В. Овчинников. Исследование динамики процессов на поверхности твердых тел при воздействии ультракоротких импульсов лазерного излучения // Лучевые технологии и применение лазеров V международная конференция. С-Петербург. 2009. С. 47-52.

6. Патент 2344027 Российская Федерация. Способ резки пирографита / Соколова Т.Н., Трофимова О.А., Конюшин А.В., Сурменко Е.Л. Заявлено 14.05.2007; Оpubл. 20.01.2009. бюл.№2.
7. Попов И.А., Соколова Т.Н., Сурменко Е.Л., Чеботаревский Ю.В., Бессонов Д.А., Родионов И.В. Фазовые превращения в зоне нагрева при обработке стекла и керамики // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2016. Том 13. №4. С. 468.
8. Кононенко Т.В., Конов В.И. Сравнительные исследования абляции материалов наносекундными и пико-фемтосекундными импульсами // Квантовая электроника. 1999. Том 28. № 2.