

05;07;12

Использование лазерного излучения для формирования капиллярной структуры плоских керамических тепловых труб

© Ю.Е. Николаенко, С.М. Ротнер

Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт“, Киев, Украина
ТМ ЛАЭТ ООО „Нептун“, Одесса, Украина
E-mail: yunikola@ukr.net

Поступило в Редакцию 18 июля 2012 г.

Экспериментально подтверждена возможность использования лазерного излучения с длиной волны $1.064\ \mu\text{m}$ для формирования капиллярной структуры в зоне испарения плоских керамических тепловых труб. Установлены параметры технологического режима, позволившие получить капиллярную структуру на пластинах из керамики AlN и Al_2O_3 толщиной $1\text{--}2\ \text{mm}$ с размерами 48×60 и $100 \times 100\ \text{mm}$, впитывающую жидкий теплоноситель (дистиллированная вода, этиловый спирт, ацетон) на высоту $100\ \text{mm}$ против действия сил тяжести. Термическое сопротивление изготовленных плоских керамических тепловых труб с такой капиллярной структурой достигает 0.07°C/W , что вполне приемлемо для использования их в качестве теплоотводов в системах обеспечения тепловых режимов электронных компонентов и в качестве пластин крупноформатных термоэлектрических модулей.

Плоские керамические тепловые трубы (ТТ) могут найти широкое применение в системах обеспечения тепловых режимов электронных компонентов, например мощных полупроводниковых светодиодов и их матриц [1,2], а также при изготовлении крупноформатных термоэлектрических модулей [3]. Так, для повышения холодопроизводительности однокаскадных крупноформатных термоэлектрических модулей их горячую и/или холодную пластины выполняют в виде плоских керамических ТТ. Такая конструкция модулей позволяет снизить перепад температуры по пластинам в случае установки охлаждаемого малоразмерного компонента в центре холодной пластины, а также

Параметры технологических режимов получения капиллярной структуры на поверхности тонких керамических пластин лазерным излучением

Параметр	Первый режим	Второй режим
Средняя мощность излучения, W	80	12
Плотность мощности излучения, W/m ²	до 10 ⁸	(1–2) · 10 ¹⁰
Диаметр сфокусированного луча, m	150 · 10 ⁻⁶	80 · 10 ⁻⁶
Длительность импульса, s	(150–500) · 10 ⁻⁶	(2–5) · 10 ⁻⁶
Частота следования импульсов, Hz	до 100	(1–5) · 10 ³
Шаг сканирования лазерного луча, mm	0.25; 0.5	0.25; 0.5

монтировать электронный компонент в виде полупроводникового чипа непосредственно на пластине или в ее теле, поскольку коэффициенты их линейного расширения близки между собой.

В технологии изготовления плоских керамических ТТ проблемным вопросом является получение капиллярной структуры, что связано с технологическими сложностями ее формирования как спеканием, так и механической обработкой.

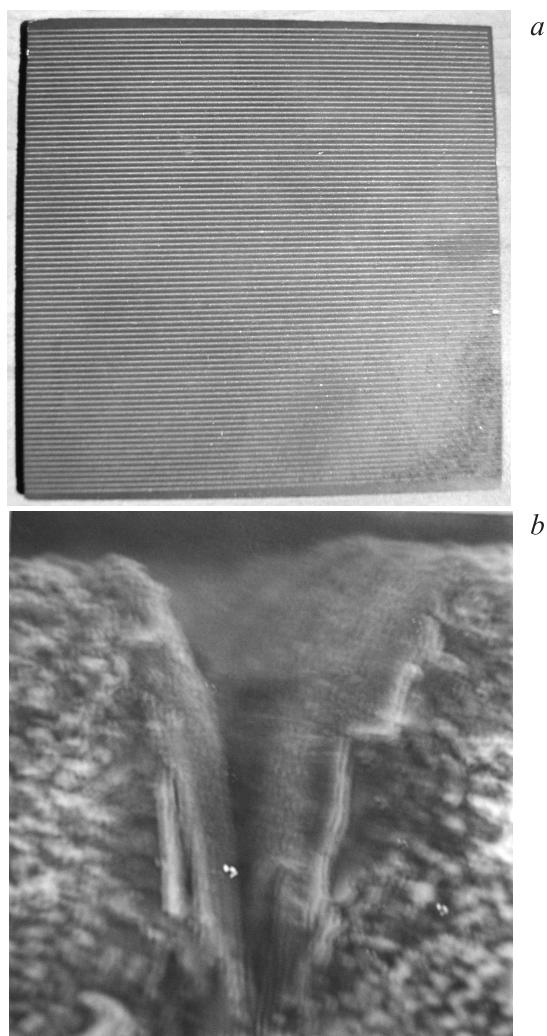
Нами впервые [2] предложена и отработана в производственных условиях технология формирования капиллярной структуры (КС) в виде капиллярных каналов на поверхности тонких керамических пластин с помощью лазерного излучения. Отработка наиболее рациональных технологических режимов получения капиллярной структуры проводилась с использованием компьютеризированного лазерного технологического комплекса, разработанного и изготовленного в ООО СП „ЛАЭТ“, г. Одесса, на образцах керамических пластин из нитрида алюминия AlN и оксида алюминия Al₂O₃ размерами 48 × 60 и 100 × 100 mm, толщиной 1.0–2.0 mm. В качестве источника лазерного излучения в разработанном технологическом комплексе использовался твердотельный лазер на основе алюмоиттриевого граната, легированного неодимом, с длиной волны излучения 1.064 μm.

Для формирования КС было исследовано два режима лазерного излучения (см. таблицу): первый — импульсный, многомодовый режим свободной генерации; второй — одномодовый режим с акустооптической модуляцией (режим квазинепрерывного излучения). В результа-

те экспериментальной обработки технологических режимов лазерной обработки поверхности керамических материалов установлено, что пластины из керамики AlN и Al₂O₃ хорошо обрабатываются как в первом, так и во втором режимах, что позволяет получать КС в виде параллельных капиллярных каналов на поверхности керамических пластин. Однако производительность обработки в первом режиме выше, чем во втором. Форма полученных капиллярных каналов исследовалась с помощью профилографа и методом электронной микроскопии. Установлено, что полученные каналы имеют форму, близкую к клинообразной.

Механизм образования капиллярных каналов определялся в результате спектрального анализа методом фотоэлектронной спектроскопии поверхности керамических пластин с чистой поверхностью и обработанных лазером. В результате таких исследований установлено, что при лазерной обработке материалов в первом режиме образование каналов на поверхности керамических пластин связано в основном с расплавлением материала пластины и его выбросом, а также с частичным испарением материала. Такой механизм характерен больше для формирования КС на алюмооксидной керамике, где профиль полученных капиллярных каналов почти симметричен и имеет форму клина, проникающего в глубь пластины. Особенностью плавления алюмонитридной керамики является то, что этот материал под воздействием лазерного излучения плавится с разложением нитрида алюминия на алюминий и газообразный азот, способствующий при плавлении материала выбросу его из канала.

При лазерной обработке материалов во втором режиме выброс материалов происходит в основном за счет сублимации материала, хотя процесс плавления также имеет место. Доказательством последнего является возникновение электрической проводимости в капиллярных каналах на керамике из нитрида алюминия. Электрическое сопротивление каналов уменьшается на 10–12 порядков по сравнению с необработанной поверхностью, что свидетельствует о наличии процесса разложения нитрида алюминия с выделением полиморфных фаз алюминия вследствие протекания процессов плавления. Полученные при этом капиллярные каналы значительно уже, чем каналы, полученные при использовании первого режима лазерного излучения.



Капиллярная структура на пластине из керамики AlN размером 100×100 mm: внешний вид капиллярной структуры в виде параллельных каналов (*a*); поперечное сечение капиллярного канала в увеличенном масштабе (*b*). Ширина канала вверху $120 \mu\text{m}$, глубина канала $170 \mu\text{m}$.

На основе излучения механизма образования капиллярных каналов и смачиваемости их поверхности выбранными теплоносителями (дистиллированная вода, этиловый спирт, ацетон) был установлен наиболее рациональный технологический режим формирования капиллярной структуры на поверхности керамических пластин с помощью лазерного излучения, исходя из критерия максимальной высоты капиллярного впитывания жидкого теплоносителя в полученные каналы капиллярной структуры. Лучшие результаты по впитыванию исследованных теплоносителей (100 мм против силы тяжести) достигнуты на пластинах из керамики AlN с капиллярной структурой, полученной в режиме лазерного излучения с акустооптической модуляцией, с шагом каналов 0.25 мм (см. рисунок).

Из керамических пластин на основе AlN и Al₂O₃ с нанесенной по разработанной технологии капиллярной структурой были изготовлены и исследованы макетные образцы плоских керамических тепловых труб размерами 48 × 60 и 100 × 100 мм с разными теплоносителями: дистиллированная вода, этиловый спирт, ацетон.

Исследования теплопередающих характеристик ТТ проводились на специально изготовленном экспериментальном стенде с водяным охлаждением зоны конденсации ТТ. Лучшие результаты по термическому сопротивлению были получены на тепловых трубах размерами 48 × 60 × 2.5 мм, заполненных дистиллированной водой. При мощности нагревателя, установленного в зоне нагрева, 140 W температура на поверхности нагревателя составляла 60°C, на керамической пластине в зоне нагрева 30°C, на противоположной пластине в зоне охлаждения 20°C, что соответствует значению термического сопротивления тепловой трубы 0.07°C/W.

Разработанная технология изготовления капиллярной структуры на поверхности тонких керамических пластин с помощью лазерного излучения позволяет изготавливать плоские керамические тепловые трубы, пригодные для использования в качестве эффективных электроизоляционных теплопроводов в системах охлаждения матриц кристаллов мощных светодиодов, многоядерных микропроцессоров, мощных элементов силовой электроники, а также в качестве пластин крупноформатных термоэлектрических модулей.

Список литературы

- [1] *William D. Koenigsberg, Adam M. Scotch, David W. Hamby et al.* Ceramic heat pipe with porous ceramic wick. Patent Application Publication US, 2010/0078151 A1. 01.04.2010.
- [2] *Ротнер С.М., Николаенко Ю.Є.* Пристрій для охолодження тепловидільних елементів. Патент UA, 50432 U. 16.06.2010. (*Rotner S.M., Nikolaenko Yu.E.* Device for cooling fuel elements. Patent UA, 50432 U, Published 16.06.2010, bulletin N 11. (In Ukrainian).)
- [3] *Анатычук Л.И., Николаенко Ю.Е., Вайнер А.Л., Николаенко Т.Ю.* Термо-электрический модуль. Патент RU, 60271 U1. 10.01.2007. (*Anatychuk L.I., Nikolaenko Yu.E., Vainer A.L., Nikolaenko T.Yu.* Thermoelectric modules. Patent RU, 60271 U1. Published 10.01.2007, bulletin N 1. (In Russian).)