

А.Г. Григорьянц  
М.А. Казарян  
Н.А. Лябин

# ЛАЗЕРНАЯ ПРЕЦИЗИОННАЯ МИКРООБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ



А.Г. Григорьянц  
М.А. Казарян  
Н.А. Лябин

ЛАЗЕРНАЯ  
ПРЕЦИЗИОННАЯ  
МИКРООБРАБОТКА  
МАТЕРИАЛОВ



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2017

УДК 621.373.8  
ББК 22.32.38.94  
Г 83

Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А. **Лазерная прецизионная микрообработка материалов.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. — 416 с. — ISBN 978-5-9221-1699-2.

В настоящей монографии представлено современное состояние фундаментальных исследований и промышленных достижений в области прецизионной лазерной обработки широкого круга металлических, полупроводниковых и диэлектрических материалов. Анализируются возможности микрообработки импульсным наносекундным излучением лазера и лазерных систем на парах меди.

Рассмотрены конструкции и принципы действия нового поколения этого класса промышленных лазеров номинальной мощностью излучения 1–20 Вт и мощностью 30–100 Вт, пути повышения их эффективности и надежности, а также созданной на их основе серии современных автоматизированных технологических установок для микрообработки фольговых (0,01–0,2 мм) и тонколистовых (0,2–1,0 мм) материалов, в частности изделий электронной техники. Представлены различные примеры прецизионных деталей, изготовленных на созданном оборудовании.

Монография будет полезна специалистам, инженерам, студентам и аспирантам, работающим и обучающимся в области лазерной техники и оптики, лазерных и информационных технологий.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных сокращений и обозначений . . . . .	6
Предисловие . . . . .	8
Введение . . . . .	9
<b>Глава 1. Обзор современного состояния и развития импульсных ЛПМ и ЛСПМ . . . . .</b>	<b>19</b>
1.1. Открытие, первые исследования и конструкции ЛПМ . . . . .	19
1.2. Состояние и развитие ЛПМ в России . . . . .	20
1.3. Состояние и развитие ЛПМ и ЛСПМ в зарубежных странах . . . . .	34
1.4. Состояние и развитие ЛПМ и ЛСПМ в АО «НПП “Исток” им. Шокина» . . . . .	42
1.5. Выводы и результаты по главе 1 . . . . .	52
<b>Глава 2. Возможности импульсных ЛПМ и ЛСПМ для микрообработки материалов . . . . .</b>	<b>56</b>
2.1. Состояние современного лазерного технологического оборудования для обработки материалов и место в нем импульсного ЛПМ . . . . .	56
2.2. Анализ возможностей импульсного ЛПМ для микрообработки металлических и неметаллических материалов . . . . .	57
2.3. Технологическая установка МР200Х фирмы «Oxford Lasers» для микрообработки . . . . .	66
2.4. Основные результаты первых отечественных исследований по микрообработке на ЛСПМ «Карелия», технологической установке ЭМ-5029 . . . . .	68
2.5. Первая отечественная экспериментальная лазерная технологическая установка (ЭЛТУ) «Каравелла» . . . . .	70
2.6. Выводы и результаты по главе 2 . . . . .	81
<b>Глава 3. Новое поколение высокоэффективных и долговечных промышленных отпаянных АЭ импульсного ЛПМ серий «Кулон» мощностью излучения 1–20 Вт и «Кристалл» мощностью 30–100 Вт . . . . .</b>	<b>84</b>
3.1. Анализ первых конструкций саморазогревных АЭ импульсного ЛПМ и причин их недолговечности и низкой эффективности . . . . .	84
3.2. Исследование путей повышения КПД, мощности и стабильности параметров выходного излучения ЛПМ . . . . .	88

3.3. Выбор направлений развития нового поколения промышленных отпаянных саморазогреваемых АЭ ЛПМ . . . . .	90
3.4. Внешний вид и массогабаритные показатели промышленных отпаянных АЭ импульсного ЛПМ серий «Кулон» и «Кристалл» . . . . .	92
3.5. Конструкция, технология изготовления и тренировки; основные параметры и характеристики промышленных отпаянных АЭ ЛПМ серий «Кулон» и «Кристалл» . . . . .	93
3.6. Выводы и результаты по главе 3 . . . . .	167
<b>Глава 4. Высокоселективные оптические системы по формированию в ЛПМ и ЛСПМ однолучкового излучения дифракционного качества и со стабильными параметрами . . . . .</b>	<b>172</b>
4.1. Отличительные свойства и особенности формирования излучения в импульсном ЛПМ . . . . .	173
4.2. Экспериментальные установки и методики исследований . . . . .	175
4.3. Структура и характеристики излучения ЛПМ в однозеркальном режиме; условия формирования однолучкового излучения с высоким качеством . . . . .	180
4.4. Структура и характеристики излучения ЛПМ в режиме с НР с двумя выпуклыми зеркалами; условия формирования однолучкового излучения с дифракционной расходимостью и стабильными параметрами . . . . .	191
4.5. Структура и характеристики излучения ЛПМ в режиме с телескопическим НР; условия формирования и выделения пучка излучения с дифракционной расходимостью . . . . .	199
4.6. Исследование условий формирования в ЛСПМ типа ЗГ–УМ мощного однолучкового излучения с дифракционной расходимостью . . . . .	205
4.7. Исследование свойств АС импульсного ЛПМ с применением ЛСПМ . . . . .	230
4.8. Выводы и результаты по главе 4 . . . . .	234
<b>Глава 5. Промышленные технологические ЛПМ и ЛСПМ на базе нового поколения отпаянных АЭ и новых оптических систем . . . . .</b>	<b>241</b>
5.1. Первое поколение промышленных ЛПМ . . . . .	241
5.2. Новое поколение промышленных ЛПМ серии «Кулон» . . . . .	254
5.3. Двухканальный ЛСПМ «Карелия» с высоким качеством излучения . . . . .	271
5.4. Двухканальная ламповая ЛСПМ «Кулон-15» . . . . .	285
5.5. Трехканальная ЛСПМ «Карелия-М» . . . . .	288
5.6. Мощные ЛСПМ . . . . .	290
5.7. Выводы и результаты по главе 5 . . . . .	292
<b>Глава 6. Современные АЛТУ «Каравелла» . . . . .</b>	<b>295</b>
6.1. Требования к импульсным ЛПМ и ЛСПМ в современном технологическом оборудовании . . . . .	295

6.2. Промышленные АЛТУ «Каравелла-1» и «Каравелла-1М» на базе двухканальной ЛСПМ . . . . .	296
6.2.1. Состав, конструкция и принцип действия (296). 6.2.2. Принцип построения и структура СДУ (312). 6.2.3. Основные технические параметры и характеристики (315).	
6.3. Промышленные АЛТУ «Каравелла-2» и «Каравелла-2М» на базе одноканального ЛПМ . . . . .	320
6.3.1. Основы создания промышленных АЛТУ «Каравелла-2» и «Каравелла-2М» (320). 6.3.2. Состав, конструкция и принцип действия АЛТУ (322). 6.3.3. Основные технические параметры и характеристики (328).	
6.4. Выводы и результаты по главе 6. . . . .	333
<b>Глава 7. Лазерные технологии прецизионной микрообработки фольговых и тонколистовых материалов ИЭТ . . . . .</b>	<b>335</b>
7.1. Пороговые плотности пиковой и средней мощности излучения ЛПМ для испарения теплопроводных и тугоплавких материалов, кремния и поликристаллического алмаза . . . . .	335
7.2. Влияние толщины материала на скорость и качество лазерной обработки . . . . .	340
7.3. Разработка технологии химической очистки металлических деталей от шлака после лазерной микрообработки . . . . .	342
7.4. Исследование качества поверхности лазерного реза и структуры ЗТВ . . . . .	347
7.5. Разработка технологии микрообработки при производстве многослойных керамических плат ЛТСС для изделий СВЧ-электроники . . . . .	354
7.6. Выводы и результаты по главе 7. . . . .	359
<b>Глава 8. Применение промышленных АЛТУ «Каравелла-1», «Каравелла-1М», «Каравелла-2» и «Каравелла-2М» для изготовления прецизионных деталей ИЭТ . . . . .</b>	<b>361</b>
8.1. Возможности применения АЛТУ «Каравелла» для изготовления прецизионных деталей . . . . .	361
8.2. Примеры изготовления прецизионных деталей для ИЭТ на АЛТУ «Каравелла» . . . . .	363
8.3. Преимущества лазерного способа микрообработки материалов на АЛТУ «Каравелла» перед традиционными методами обработки . . . . .	372
8.4. Перспективные направления технологического применения АЛТУ «Каравелла» . . . . .	374
8.5. Выводы и результаты по главе 8. . . . .	379
Заключение . . . . .	381
Список литературы . . . . .	385