

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.

© ФИЗМАТЛИТ, 2017

© А. Г. Григорьянц, М. А. Казарян,
Н. А. Лябин, 2017

ISBN 978-5-9221-1699-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных сокращений и обозначений	6
Предисловие	8
Введение	9
 Глава 1. Обзор современного состояния и развития импульсных ЛПМ и ЛСПМ	 19
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
 Глава 2. Возможности импульсных ЛПМ и ЛСПМ для микрообработки материалов	 56
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
 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	 84
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 саморазогревных 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
Глава 4. Высокоселективные оптические системы по формированию в ЛПМ и ЛСПМ однопучкового излучения дифракционного качества и со стабильными параметрами	172
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 однопучкового излучения с высоким качеством	180
4.4. Структура и характеристики излучения ЛПМ в режиме с НР с двумя выпуклыми зеркалами; условия формирования однопучкового 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 однопучкового 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
Глава 5. Промышленные технологические ЛПМ и ЛСПМ на базе нового поколения отпаянных АЭ и новых оптических систем	241
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
Глава 6. Современные АЛТУ «Каравелла»	295
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
Глава 7. Лазерные технологии прецизионной микрообработки фольговых и тонколистовых материалов ИЭТ	335
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 LTCC для изделий СВЧ-электроники .	354
7.6. Выводы и результаты по главе 7.	359
Глава 8. Применение промышленных АЛТУ «Каравелла-1», «Каравелла-1М», «Каравелла-2» и «Каравелла-2М» для изготовления прецизионных деталей ИЭТ	361
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