

ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ В ЭЛЕКТРОННОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ: ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Ужесточение требований к параметрам электронных приборов, вызванное совершенствованием их компонентов и повышением качества аппаратуры, выдвигает на первый план задачу обеспечения их точности. Особенно это важно для ИС, изготавливаемых по планарной технологии. Чем в этом плане могут помочь лазеры, анализирует данная статья.

Появление твердотельных лазеров (ТТЛ) типа Nd:YAG позволило решать такие технологические процессы, как: разделение на отдельные платы подложек из керамики типа поликор, 22-ХС, ситалл; прошивка в них заземляющих отверстий, вырезка отверстий сложной формы для монтажа полупроводниковых (п/п) приборов, подгонка планарных резисторов, коррекция формы топологии схемы, герметизация корпусов микросборок и многие другие.

Простота управления режимами излучения, сравнительная компактность и легкость автоматизации дали возможность внедрить лазерные технологии практически на всех предприятиях электронного приборостроения. Однако низкий КПД и высокое энергопотребление, повышенные требования к квалификации обслуживающего и операторского персонала и потребность в специальных помещениях ограничивали список пользователей лазерного оборудования. Ими были в основном крупные заводы и объединения.

Сегодня все большую роль на рынке электронных компонентов и приборов играют небольшие компании и предприятия, которым не под силу содержать и обслуживать нужную номенклатуру дорогостоящих лазерных технологических установок, особенно в условиях кадрового дефицита и территориальной удаленности от технологических центров.

Развитие волоконных лазеров (ВЛ) на основе мощных лазерных диодов (ЛД) позволяет говорить о новой технической революции в сфере производства ГИС. Технические параметры ВЛ в этом сегменте во многом перекрывают возможности ламповых лазеров на Nd:YAG. Основными отличиями являются:

- питание от обычной сети и высокий КПД;
- отсутствие водяного охлаждения;
- одномодовое волокно для передачи оптической мощности;
- высокое качество выходного пучка излучения (TEM00);
- оптимизированная длительность импульсов;
- высокая надежность, простота обслуживания.

Ниже на основе материалов сайта www.ntoire-polus.ru кратко представлены параметры различных типов лазеров, используемых в электронном приборостроении (см. таблицу).

Лазеры с диодной накачкой и диодные лазеры, несмотря на ряд преимуществ перед лазерами с ламповой накачкой, не нашли широкого распространения в производстве электронных компонентов. Во-первых, их разработка и начало производства пришлось на девяностые годы прошлого столетия (период перестройки электронной промышленности и стагнации развития предприятий). Во-вторых, мощные лазерные диоды, годные для использования при производстве лазеров, поставлялись из-за рубежа и были недоступны из-за высокой стоимости. В-третьих, сохранившееся лазерное оборудование, в основном с ламповой накачкой, накопленный опыт его использования, кадровый потенциал, разработанные техпроцессы позволяли некоторое время поддерживать необходимый уровень производства.

Только к середине первого десятилетия 21 века сложилась ситуация, способная определить дальнейший путь развития лазерных технологий. К этому моменту успехи в производстве активного волокна (использующего в основном иттербий в качестве активного вещества) позволили получать его в

Сравнение лазеров различных типов

Параметр	Nd:YAG с ламповой накачкой	Nd:YAG с диодной накачкой	Диодные лазеры	Волоконные лазеры
Выходная мощность, кВт	1–30	1–5	1–4	1–4
Длина волны, мкм	1,064	1,064 или 1,03	0,8–0,98	1,07
КПД, %	2–3	4–6	25–30	20–25
ВРР, мм·мрад	22	22	>200	1,3–14
Стабильность выходной мощности	низкая	низкая	высокая	очень высокая
Чувствительность к обратному отражению	высокая	высокая	низкая	низкая
Занимаемая площадь, м ²	11	9	4	0,5
Стоимость монтажа, отн. ед.	1	0,8	0,2	<0,05
Стоимость эксплуатации, отн. ед.	1	0,6	0,2	0,13
Стоимость обслуживания, отн. ед.	1	4–12	4–10	0,1
Периодичность замены ламп/диодов, ч	2000–5000	2000–5000	>50 000	>50 000

достаточных объемах, а применение ЛД для накачки сделало возможным использовать конфигурацию "задающий генератор – мощный волоконный усилитель". Это позволило благодаря высокому (до 50–60 дБ) коэффициенту усиления применять ВЛ как источник излучения.

Сегодня рынок оборудования на базе ВЛ в основном представлен системами лазерной маркировки, сварки, резки листовых металлов. Питание прибора обеспечивается внешним источником постоянного напряжения, а режим излучения (частота повторения и длительность импульсов) регулируется блоком управления или компьютером. Возможность модуляции добротности позволяет получать периодические импульсы пиковой мощностью свыше 10 кВт, что делает целесообразным использование ВЛ для резки, прошивки и скрайбирования керамических подложек, герметизации микросборок и подгонки толсто- и тонкопленочных резисторов.

Подгонка резисторов ГИС – наиболее трудоемкая технологическая операция, где преимущества использования ВЛ наиболее заметны. Для низкочастотных схем обычно используются керметные резисторы, наносимые в виде пасты через маску или трафарет и вжигаемые в подложку. Их точность невысока, но лазерная подгонка позволяет быстро подгонять их номиналы в автоматическом режиме. Более сложно лазерной подгонкой доводить параметры тонкопленочных высокочастотных резисторов. Большое значение приобретает выбор оптимального режима излучения лазера для качественного испарения пленки, минимизирующего шероховатость края резистора в зоне подгонки в сочетании с отсутствием повреждения поверхности подложки. При этом учитывается как форма реза, так и направление перемещения луча по полю резистора.

Качественное испарение пленки в зоне подгонки зависит от распределения мощности по диаметру лазерного луча в зоне фокусировки, формы, длительности и частоты следования импульса лазера. Современные условия разработки и производства электронных приборов при повышении уровня интеграции схем с использованием мощных высокочастотных

п/п компонентов ставят новые более жесткие требования к лазерной подгонке резисторов.

Оборудование для подгонки резисторов на базе лазеров с ламповой накачкой по многим параметрам не отвечает этим требованиям.

Основной задачей лазера в операции лазерной подгонки резисторов является обеспечение в зоне сфокусированного излучения такого температурного воздействия, при котором достигается локальное испарение тонкой (до 1000 Å) плен-



ки на подложке (металлической или из п/п сплава) с существенно отличающимися от резистора оптико-механическими свойствами. Ниже приведена основная формула, описывающая параметры нагрева тонкой пленки на подложке при выполнении условия, описывающего фактор риска $\Psi = \rho_1 c_1 h / \rho_2 c_2 (a_2 \tau)^2 \ll 1$ (основное условие для подгонки резисторов, при котором не происходит разогрева пленки, вызванного накоплением температуры):

$$T = 2q_0 A_1 (a_2 \tau)^2 / \pi^2 K_2,$$

где q_0 – плотность мощности падающего излучения ($\text{Вт}/\text{см}^2$), A_1 – поглощательная способность пленки, a_2 – температуропроводность подложки, τ – длительность импульса лазерного излучения, K_2 – коэффициент теплопроводности подложки, ρ – плотность и c – теплоемкость.

Возможность получить импульсы лазерного излучения практически с прямоугольным распределением излучения, без "хвостов", получаемых при модуляции добротности лазерного излучения с ламповой накачкой, что уменьшает зонный разогрев края реза и, соответственно, окисление пленки при испарении, а также увеличивает стабильность резистора в процессе эксплуатации.

Перспективным фактором применения ВЛ для подгонки резисторов является малая апертура излучения после выхода из волокна (порядка 10 мкм), что позволяет с помощью специальной оптики получить сфокусированное излучение

существенно меньшего диаметра. Это (в свою очередь) дает возможность не только добиться более высокой точности подгонки, но и возможность применять ВЛ для подгонки (а точнее функциональной настройки) по выходным параметрам п/п высокочастотных микросхем, содержащих малоразмерные (площадью до 0,01 мм²) распределенные резисторы.

Использование ВЛ как источников лазерного излучения в производстве ГИС позволяет не только уменьшить габариты и энергопотребление установки в десятки раз, но и получить другой класс оборудования. Например, установка подгонки резисторов вполне может использоваться как настольный инструмент разработчика-схемотехника. Это позволит, благодаря простоте использования и обслуживания, перевести установку лазерной подгонки в разряд приборов, встраиваемых в состав сложного многопараметрического измерительного оборудования для производства не только ГИС, но и модулей в целом. Работы в этом направлении проводились и показали свою высокую эффективность как в производственных процессах, так и на этапе научной разработки и поиска оптимального схемотехнического решения.

Результаты совместных экспериментов Поволжского ЦКП "ЛиОТ", НПФ "Прибор-Т" СГТУ и ИОФ РАН с макетом ВЛ, использующим торцевую диодную накачку для подгонки тонкопленочных резисторов, подтвердили правильность и перспективность такого направления. ○