

ДИОДНЫЕ ЛАЗЕРЫ –

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЧУДО

Появление лазерных диодов, компактных, эффективных и надежных, позволяет ожидать скорого революционного прорыва в технологии резки и глубинной сварки металлов. Однако остаются нерешенными проблемы получения луча высокого качества.

Малогабаритные и высокоэффективные лазерные диоды были разработаны более 20 лет назад. Сразу же после их появления, стало очевидно, что если удастся получить диодный лазер, качество луча которого удовлетворит промышленные технологии, то это произведет настоящую технологическую революцию.

Для того чтобы проще объяснить принципы этой технологии, предложим пример с обычной столовой солонкой. Она имеет форму цилиндра с диаметром около 30 миллиметров и высотой приблизительно 70 миллиметров. Таким образом, объем солонки составляет приблизительно 50 кубических сантиметров. Теперь давайте высыпем соль и заполним солонку лазерными диодами высокой эффективности. Попытайтесь представить себе лазер мощностью один мегаватт, который можно просто положить в карман и взять с собой куда угодно. Конечно же, чисто теоретически. Для этого нам придется также разместить в солонке блок питания, систему охлаждения, систему наведения луча и все другие обязательные принадлежности устройства. Один мегаватт мощности внутри обыкновенной солонки. Неудивительно, что лазерный диод захватил умы многих исследователей и разработчиков в области обработки материалов уже с самого момента своего появления. Главный фактор, привлекающий внимание – это то, что в таких небольших лазерах заложен огромный технологический потенциал: компактность установки. Каждый диод представляет собой независимый лазерный источник. Если удастся обеспечить мощность диодов, достаточную для сварки и резки листового металла, появится совершенно новый источник накачки лазерного луча для промышленного

применения. Даже с учетом всех упомянутых дополнительных компонентов этот источник будет настолько простым, компактным, эффективным и недорогим, что его появление приведет переворот в большинстве ныне принятых технологий, включая даже собственно лазерные технологии.

ПРЕИМУЩЕСТВА ДИОДА

Лазерные диоды представляют собой самый компактный источник лазерного излучения из всех когда-либо применявшихся в лазерных технологиях. Полупроводниковые диоды являются твердотельными устройствами, поэтому отличаются высокой прочностью и надежностью. Они характеризуются высокой долговечностью, причем по мере совершенствования технологий их эксплуатационный ресурс продолжает увеличиваться. Лазерные диоды чрезвычайно эффективны, потому что они преобразовывают энергию непосредственно в лазерное излучение. Обычно при этом их КПД составляет около 50%, но теоретически можно получить КПД установки более 80%. Сравните – стержневые лазеры с ламповой накачкой преобразовывают около 5% электрической энергии, поступа-



Рис.1 Компоненты полупроводникового элемента из GaAs

ющей из сети, в эффективную энергию луча, используемую непосредственно для обработки детали. Наиболее эффективные современные дисковые и волоконные лазеры обеспечивают энергетический КПД 30%, главным образом благодаря тому, что для накачки лазеров этих типов применяются диоды. Учитывая уровень развития современной технологии производства чипов, надо понимать, что они могут быть изготовлены в больших количествах и с небольшими затратами.

Однако показатели качества луча ограничивают применение диодных лазеров, оставляя для них открытыми лишь некоторые специальные области. На фоне указанных преимуществ заметны два основных недостатка. Тем не менее, они являются критическими с точки зрения промышленной обработки материалов. Один недостаток – это невозможность произвольно регулировать выходную мощность диодов. Подобно всем полупроводникам, лазерные диоды подвержены нагреву. Во время излучения энергия от зеркала резонатора рассеивается прямо на поверхность крошечных диодов. Выходная мощность диодов может достигать 20 ватт. Если диоды объединить в линейки, их мощность суммируется. В таком виде их можно использовать для создания источника лазерного излучения высокой мощности. Прежде все-

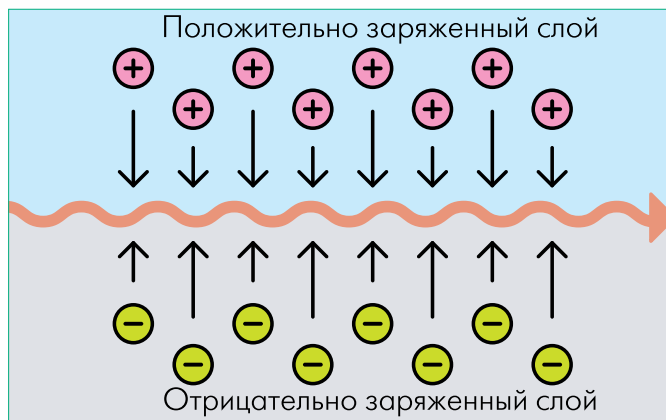


Рис.2 Формирование излучения

го – в роли источников накачки. В некоторых случаях диодные лазеры с мощностью несколько сотен ватт и широким пучком в фокусе можно использовать для сваривания пластмасс или расплавления металлических поверхностей. Они подходят также для пайки листового металла. Но в тех случаях, которые касаются глубокого сваривания, а тем более резки металла, диодные лазеры неэффективны из-за несовершенства их конструкции. Потому что тогда они не обеспечивают требуемого качества луча. Как правило, для глубокого сваривания металла требуется лазерный луч с произведени-

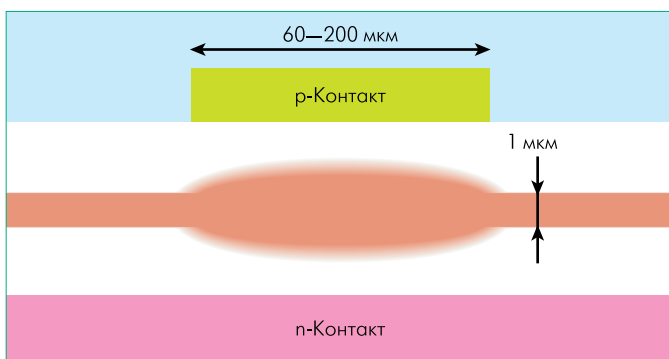


Рис.3 Влияние геометрии активной зоны на выходную мощность излучения

ем параметров луча не хуже 30 мм на миллирадиан. Для прецизионной резки металла требуется луч еще более высокого качества, когда произведение параметров должно выражаться однозначным числом. В то же время луч лазерного диода высокой мощности характеризуется двумя различными произведениями параметров – в зависимости от направления просмотра, каждое из которых составляет несколько сотен миллиметров на миллирадиан.

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛУЧА

Трудности в получении луча высокого качества, которые встают перед разработчиками лазерных диодов, связаны как раз с одним из их преимуществ – замечательными маленькими размерами. Если посмотреть сквозь увеличительное стекло на диод (рис.1), то видна узкая полоска арсенида галлия (GaAs). По пропорциям ее можно сравнить с пачкой жевательной резинки. Подобно упаковке из пластин жевательной резинки, эта полоса состоит из нескольких слоев. На границе между двумя слоями сталкиваются носители положительных и отрицательных зарядов, в результате чего высвобождаются фотоны (рис.2). Они "протекают" по границам слоя через полоски арсенида галлия, частично отражаются и выходят на поверхность в форме лазерного излучения. Эффективность преобразования электроэнергии в энергию светового излучения зависит от толщины упомянутых слоев. Для высокоэффективных диодов, которые используются в диодных лазерах, полная высота активной зоны диода не превышает одного микрометра (рис.3); в то время как по горизонтали длина

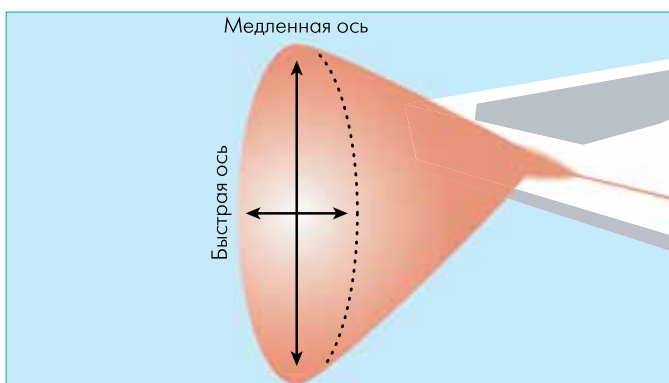


Рис.4 Эллиптическое поперечное сечение луча с двумя "осями качества"

диода составляет от 50 до 500 мкм, в зависимости от конструкции лазера. Такая конструкция обеспечивает генерацию луча с эллиптическим поперечным сечением. Это приводит к тому, что луч в поперечном сечении имеет два разных диаметра (рис.4). Поэтому получаются два разных произведения параметров качества луча. По короткой вертикальной "быстрой оси" луч рассеивается с углом развертки приблизительно 45 градусов. Малая высота активной зоны производит эффект камеры с точечной диафрагмой. В то же время, столь незначительная высота также обуславливает очень маленький диаметр луча. Тогда окончательное произведение параметров луча составляет всего 0,3 мм на миллирадиан. Однако, по горизонтальной "медленной оси" луч рассеивается с углом приблизительно шесть градусов. В этом случае диаметр луча соответствует ширине активной зоны, и, несмотря на малый угол развертки, произведение параметров пучка во многих случаях составляет нескольких сотен мм на миллирадиан.

Объединение отдельных излучателей в линейки (рис.5) и далее в каскады – приводит к дополнительным сложностям в рассматриваемом вопросе. С одной стороны образуются множество отдельных лучей асимметричного качества. Их необходимо свести вместе в один луч с симметричным сечением. Одно из решений данной проблемы кроется в использовании энергии диодных лучей для формирования нового луча с более высоким качеством. Такая схема соответствует концепции твердотельного кристаллического лазера с диодной накачкой. Однако этот процесс требует дополнительных затрат энергии, а это уже приводит к снижению КПД лазера. Другое решение заключается в суммировании лазерных лучей от нескольких диодов непосредственно в оптическом волокне. Но при направлении светового излучения от линейки или, тем более, от каскада через оптоволоконный кабель приходится сталкиваться с другой проблемой. Она аналогична той, которая возникает при попытке направить луч с квадратным сечением через волновод круглого сечения. Когда полость круглого волновода внутри, конечно же, будет освещена, но при этом потеряется часть энергии светового луча, которая проходит снаружи трубки. Кроме того, на торцевой поверхности оптошины имеется значительная "мертвая" зона. Ее появление вызвано отсутствием излучения из пространства между излучателями. При проецировании этих темных пятен на оптическое волокно снижается мощность и яркость результирующего луча.

Другая ключевая проблема кроется в объединении диодного излучения внутри оптоволоконного канала. Чем выше качество луча на выходе и меньше количество излучателей, проецируемых на оптическое волокно, тем выше удельное поглощение световой энергии с поверхности оптоволоконна на единицу диаметра канала. Тем меньшая часть энергии выдается тогда на выходе во внешнюю среду. Но при возраста-

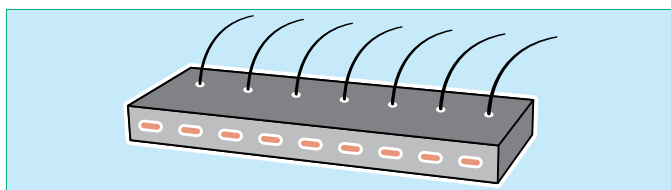


Рис.5 Сборка диодных лазеров

нии количества излучателей выходная мощность луча значительно уменьшается. Таким образом, высокое качество луча может быть пока получено только для незначительной выходной мощности.

Особая концепция обеспечения высокого качества луча заложена в конструкции излучателя TruDiode. Для генерирования светоизлучения в тонком оптоволоконном канале предпочтительно использовать как можно меньшее количество излучателей. Такой подход позволяет значительно повысить яркость луча на выходе модуля. Качество луча отдельных модулей не снижается при объединении в оптоволокне. Производство параметров качества луча установки в целом в этом случае пропорционально только диаметру комбинированного оптоволоконного кабеля, а не количеству генерирующих модулей. Девятнадцать модулей, каждый мощностью 100 Вт, с производением параметров качества луча 5 мм на миллирадиан на выходе оптоволоконного канала диаметром 100 мкм образуют единую лазерную установку (рис.6). Смешивая лучи от двух лазерных модулей с одной длиной волны в одном оптоволоконном кабеле диаметром 600 мкм, можно получить диодный лазер с высокой мощностью и яркостью луча (рис.7). Если требуется высокая выходная мощность, придется смириться с толстым оптоволоконным кабелем и низким КПД. Придется также принять компромиссное решение по качеству луча – вплоть до низкого.

Несмотря на все описанные проблемы, уже ни у кого не вызывает сомнений тот факт, что широкий набор технологий сваривания и резки при обработке листового металла находится на рубеже нового технологического прорыва. И это связано, прежде всего, с внедрением технологии диодных лазеров. Технологии лазеров на светодиодах уже бросают вызов традиционным способам сварки.

Этот факт становится очевидным по мере роста выходной мощности лазеров, интерес к которым в металлообрабатывающей промышленности неизменно увеличивается.

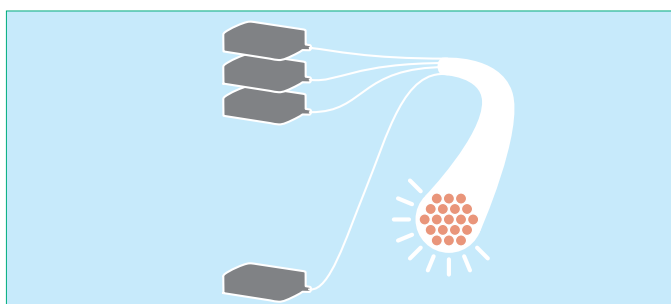


Рис.6 Суммирование излучения диодных лазеров в оптоволокно

В июне 2008 года в институте Фраунгофера удалось получить лазер с выходной мощностью 10 кВт по оптоволоконному каналу с диаметром 1,5 мм при производстве параметров качества луча приблизительно 165 мм на миллирадиан, что соответствовало требованиям для лазерной сварки металла наплавкой. Для глубокой сварки металлических листов требуется большая яркость луча с коэффициентом 25. В начале 2009 года фирма TRUMPF продемонстрировала модуль диодного лазера с выходной мощностью 100 Вт, производство параметров качества луча которого составляло всего 5 мм на миллирадиан. Однако при столь высоком качестве луча его выходная мощность составила лишь одну сотую часть от мощности лазерной установки в институте Фраунгофера. Тем не менее, такие модули могут быть сгруппированы в более мощные лазерные установки. Это дает основания для дальнейших разработок мощных диодных лазерных установок. Параметры качества луча в них позволят производить глубокую сварку и даже резать металлические листы небольшой толщины.

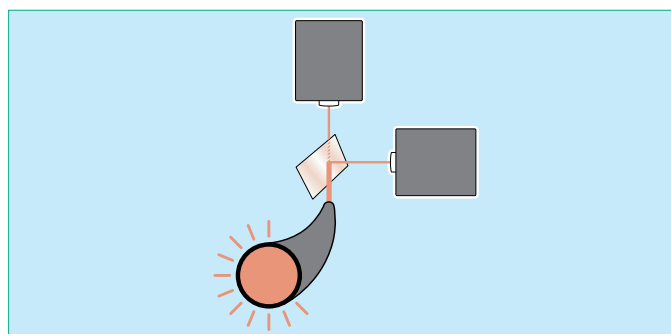


Рис.7 Суммирование лучей от двух лазерных модулей одной длины волны

Первая жертва такого технологического прорыва уже очевидна: это – твердотельные лазеры с ламповой накачкой. Диодная технология позволит заменить такие лазеры уже через несколько лет, а поскольку полупроводниковые технологии постоянно развиваются и совершенствуются, они могут даже занять определенную долю на рынке в сегменте дисковых и волоконных лазеров. В долгосрочной перспективе диодные лазеры могут стать доминирующими изделиями в сегменте твердотельных лазеров. А до этого, преимущества полупроводниковых диодов способны в корне изменить обстановку на рынке, особенно в аспекте конкуренции с обычными системами обработки материалов. Возможность получить компактную, надежную и высокоэффективную лазерную систему – вот в чем заключаются основные преимущества новых технологий. И такие системы уже доступны для использования, причем при значительно меньшем объеме инвестиций в их разработку и реализацию.

Дополнительная информация по адресу:
111033, Россия, г. Москва, ул. Золоторожский Вал, 4а.
Тел.: +7 (495) 228-07-10; факс: +7 (495) 228-07-11;
www.ru.trumpf.com; e-mail: info@ru.trumpf.com