

высокая локальность, кратковременность воздействия, малая зона термич. влияния, возможность ведения технологич. процессов в любых прозрачных средах (в т. ч. в агрессивных) и внутри герметически закрытых объёмов. Лазеры используются для сверления отверстий, резки и скрайбирования (нанесение рис. на поверхность пластины полупроводника лазерным лучом), закалки, гравировки, изготовления и фигурной обработки тонких плёнок, динамики, балансировки вращающихся деталей, подстройки элементов схем и др.

**Сверление отверстий.** Л. т. упрощает операцию получения отверстий в твёрдых, хрупких, тугоплавких, радиоакт. материалах. Она эффективна при изготовлении алмазных фильер для волочения проволоки, стальных и керамич. фильер для производства искусств. волокон; при сверлении рубиновых часовых камней, ферритовых пластин для устройств памяти, керамич. изоляторов, изделий из сверхтвёрдых сплавов. Для сверления обычно используются импульсные лазеры на неодимовом стекле, иттрий-алюминиевом гранате (ИАГ),  $\text{CO}_2$ . Типичные параметры лазеров: энергия от десятых долей до десятков Дж, длительность импульса 0,1—1 мс, плотность потока энергии до 10 МВт/см<sup>2</sup>. Недостаток лазерного метода сверления в одномопульсном режиме — невысокая точность и плохая воспроизводимость, связанные с флуктуациями интенсивности излучения. Этот недостаток частично устраняют, переходя к многоимпульсной методике. В этом случае обработка ведётся серией импульсов с энергией в импульсе 0,1—0,5 Дж. При этом удаётся получать отверстия сложного профиля с отношением глубины к диаметру 1—20 при точности обработки 1 мкм.

**Резка и скрайбирование.** Наиб. важны резка тонких плёнок и полупроводниковых пластин при изготовлении интегральных схем и т. п. газолазерная резка листовых материалов (см. ниже). Резку тонких плёнок производят серийно короткими импульсами. Для этой цели используются газовые лазеры на молекулярном азоте либо твердотельные лазеры на ИАГ с Nd. Типичные интенсивности  $\sim 10^6$ — $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, ширина реза 5—30 мкм. Для резки и скрайбирования полупроводниковых пластин удобен лазер на ИАГ с Nd, обеспечивающий при ср. мощности  $\sim 10$ —50 Вт и частоте следования импульсов  $\sim 1$  кГц скорость разрезания (нанесения рисок)  $\sim 60$  мм/мин. Ширина разреза вместе с зоной термич. влияния  $\sim 50$ —100 мкм.

При газолазерной резке на обрабатываемый объект одновременно направляют лазерное излучение и струю газа. Чаще всего применяют  $\text{CO}_2$ -лазер; состав газовой струи зависит от обрабатываемого материала. При резке неметаллов, хорошо поглощающих излучение  $\text{CO}_2$ -лазера, струя газа (воздух или инертный газ) используется для охлаждения краёв разреза и удаления продуктов разрушения. При резке металлов применяют кислород или воздух, к-рые способствуют предварит. окислению металла, что уменьшает его отражат. способность; далее происходит воспламенение металла и выделяющееся тепло усиливает термич. действие лазерного излучения; наконец струя удаляет расплав и продукты окисления, обеспечивая поступление кислорода к фронту горения. В зависимости от скорости перемещения луча возможны два режима: управляемой резки, когда тепла от реакции недостаточно для самоподдерживающегося фронта горения на всю поверхность, обдуваемую струей  $\text{O}_2$ , и неуправляемой (автогенной) резки, когда металл горит по всей поверхности за счёт тепла реакции окисления. Газолазерная резка затруднена, если металл имеет тугоплавкий окисел либо низкий тепловой эффект реакции окисления.

Обычно для газолазерной резки требуются интенсивности  $\sim 100$  кВт/см<sup>2</sup>. Применяются  $\text{CO}_2$ -лазеры непрерывного действия мощностью неск. сотен Вт. Ширина разреза 0,3—1 мм при толщине разрезаемого материала до 10 мм.

**Сварка.** Осп. преимущество лазерной сварки — бесконтактность (напр., через прозрачные окна внутри герметически закрытых сосудов); существен также малый размер зоны термич. влияния, что позволяет работать в условиях интенсивного теплоотвода. Лазерным методом удаётся соединять металлы и сплавы, не свариваемые обычным способом, напр. W с Cu или со сталью. Для сварки целесообразно использовать импульсные лазеры. Можно выполнять точечную ишовную сварку. Типичные интенсивности 0,1—1 МВт/см<sup>2</sup> (в зависимости от материала). Толщина свариваемых деталей 0,01—1 мм. Отношение глубины проплавления к ширине шва 0,5—5.

**Фигурная обработка поверхности.** Проблема образования микро рельефа на поверхности материалов важна для микроэлектроники, полиграфич. промышленности, при обработке твёрдых сплавов, ювелирных камней и т. п. Для создания рельефа используются: испарение, термообработка, в результате к-рой происходят структурные превращения в материале; окислительно-восстановительные реакции и реакции разложения, вызванные нагреванием; термостимулированные диффузионные процессы.

*Лит.:* Действие излучения большой мощности на металлы, М., 1970; Вейко В. П., Либенсон М. Н., Лазерная обработка, Л., 1973; Рыкалин П. П., Углов А. А., Кокора А. Н., Лазерная обработка материалов, М., 1975; Бункин Ф. В., Кириченко Н. А., Лукьянчук В. С., Термохимическое действие лазерного излучения, «УФН», 1982, т. 138, с. 45; Промышленное применение лазеров, под ред. Г. Кёбнера, пер. с англ., М., 1988. С. И. Анисимов.

**ЛАЗЕРНАЯ ХИМИЯ** — хим. превращения, осуществляемые под воздействием лазерного излучения. Направленность и высокая интенсивность излучения (см. Лазер) обеспечивают высокую скорость ввода энергии в объём, где протекает хим. реакция, её точную пространственную и временную локализацию, дозированность и стерильность. При этом возможны как гомофазные реакции с полным исключением влияния стенок, ограничивающих объём, так и процессы, происходящие только на поверхности раздела фаз, в стенках реактора и т. п. Монохроматичность лазерного излучения позволяет осуществлять резонансное воздействие на исходные или конечные вещества, что даёт возможность реализации селективных процессов.

**Лазерная фотохимия.** Неизбежные релаксационные процессы приводят к тому, что введенная в реактор энергия лазерного излучения в конечном счёте преобразуется в тепловую. Если влияние релаксационных процессов мало (время релаксации велико), возможно селективное воздействие, при к-ром хим. активность атомов и молекул возникает непосредственно в результате поглощения ими фотонов. Влияние релаксации минимально при резонансном воздействии излучением видимого и УФ-диапазонов ( $\hbar\omega \gg kT$ ,  $\omega$  — частота излучения). В этом случае столкновительная релаксация в газе, равно как и многофотонный распад возбуждённого состояния в конденсированной среде, затруднены, а излучательный спонтанный распад может быть скомпенсирован увеличением вероятности возбуждения с ростом интенсивности облучения. Возможность высокой эффективности возбуждения выгодно отличает лазерную фотохимию от обычной. С ростом интенсивности излучения важную роль начинают играть процессы ступенчатого и многофотонного возбуждения (см. Многофотонные процессы). Это позволяет возбуждать активные состояния атомов и молекул, одиофотонные переходы в к-рые запрещены правилами отбора, а также создавать молекулы, возбуждённые заметно выше энергии диссоциации (по любой из связей). Характер и глубина фрагментации молекул при этом радикально меняются. Напр., при обычном УФ-фотолизе метиламина  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  основными конечными продуктами являются  $\text{NH}_3$  и  $\text{CH}_2$ , а под действием излучения эксимерного лазера на ArF (длина волны  $\lambda = 193$  нм) также  $\text{HC}$  и  $\text{CH}_3\text{C}$ .