

6 Lasertypen

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, die Vielzahl verschiedener Laser zu klassifizieren. Je nach Gesichtspunkt können z. B. Ausgangsleistung, Emissionswellenlänge, Emissionsdauer, Strahleigenschaften oder die jeweiligen Anwendungsgebiete betrachtet werden.

Da in den vorherigen Kapiteln systematisch der Aufbau von Lasern beschrieben wurde, werden im Folgenden die Laser nach ihren aktiven Medien unterschieden. Die Art des aktiven Mediums legt entscheidend den Laser-Aufbau fest, deshalb ist diese Klassifizierung hier sinnvoll. Im Folgenden wird für die Grobeinteilung der Aggregatzustand des aktiven Mediums, also gasförmig, flüssig oder fest, betrachtet.

Es folgen Abschnitte über Gas-Laser, Flüssigkeits-Laser, auch Farbstoff-Laser genannt, und Festkörper-Laser. Die Klasse der Festkörper-Laser teilt sich in zwei grundsätzlich verschiedene Lasertypen auf: einerseits die Halbleiter- oder Dioden-Laser, die direkt durch elektrischen Strom angeregt werden, und andererseits die dielektrischen Festkörper-Laser, die meist verkürzt nur Festkörper-Laser genannt werden. Bei Letzteren wird ein mit aktiven Ionen dotierter, elektrisch nichtleitender Festkörper, wie ein Ionenkristall oder ein Glas, optisch gepumpt.

In dieser Darstellung können nicht alle existierenden Laser behandelt werden, vielmehr sind beispielhaft die kommerziell wichtigsten mit ihren Anwendungsgebieten aufgeführt.

6.1 Gas-Laser

6.1.1 Grundlagen

In Gas-Lasern kann das aktive Medium bestehen aus:

- *neutralen Atomen*, wie Neon (Ne) beim HeNe-Laser und Kupfer (Cu) oder Gold (Au) beim Kupferdampf- oder Golddampf-Laser,
- *ionisierten Edelgasatomen*, wie einfach ionisiertem Argon (Ar^+) oder Krypton (Kr^+) beim Argon- oder Krypton-Ionen-Laser,
- *Molekülen*, wie Stickstoff (N_2) oder Kohlendioxid (CO_2), oder

- *Excimeren*, also zweiatomigen Molekülen, die nur im angeregten Zustand stabil sind.

Das Pumpen von Gas-Lasern erfolgt grundsätzlich über eine elektrische Entladung im Lasergas. Das Gas wird beim Einschalten des Lasers durch einen Hochspannungspuls vorionisiert. Anschließend wird an das Gas eine Spannung angelegt, sodass ein Strom, der Entladungsstrom, fließt. Je nach Betriebsart des Lasers werden im einfachsten Fall eine Gleichspannung für Dauerstrich-Laser oder ein Spannungspuls für gepulste Laser verwendet. Die Pumpprozesse innerhalb des Lasergases, das oft aus einem Gasgemisch besteht, werden mit der Theorie von Gasentladungen beschrieben. Diese sind im Allgemeinen nicht so übersichtlich darstellbar wie beim optischen Pumpen von Festkörper-Lasern.

Der Stromfluss in der Entladung erfolgt durch negativ geladene freie Elektronen und positiv geladene Ionen. Durch die angelegte Spannung werden besonders die leichten freien Elektronen beschleunigt und geben ihre kinetische Energie mittels Stößen an die Atome des Lasergases ab. Diese Energie wird auf die Elektronen der laseraktiven Atome übertragen, sodass die für den Laser-Prozess notwendige Besetzungsinversion entstehen kann.

Die Geschwindigkeit der Elektronen und damit auch deren kinetische Energie wird mit der Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung beschrieben. Diese führt zur Definition einer Elektronentemperatur T_e . Je nach Lasertyp verwendet man

- eine *Niederdruck-Entladung* mit einer niedrigen Stromdichte i von $i < 0,2 \text{ A/cm}^2$ und einer Elektronentemperatur $T_e < 500 \text{ K}$ für die Anregung von Atomen und Molekülen oder
- eine *Niederdruck-Bogenentladung* mit einer Stromdichte $i > 10 \text{ A/cm}^2$ und einer Elektronentemperatur $T_e > 3000 \text{ K}$ für die Anregung von Ionen. Diese hohe Elektronentemperatur ist notwendig, da sonst die Elektronen keine ausreichende kinetische Energie zur Ionisierung und Anregung der Laser-Atome haben.

Für Dauerstrichbetrieb liegt der Gasdruck meist um 1 mbar, nur beim CO_2 -Laser bei etwa 50 mbar. Für höhere Drücke wird technisch keine stabile Entladung erreicht. Bei gepulsten Lasern verwendet man meist Atmosphärendruck. Die Energieübertragung von den Elektronen e auf die Laser-Atome A kann auf zwei Arten erfolgen:

In *Stößen erster Art* regt ein Elektron das Laser-Atom A direkt in einen energetisch höheren Zustand A^* an:



In *Stößen zweiter Art* regt das Elektron im ersten Schritt ein Atom B einer zweiten Art an. Dieses Atom B wiederum kollidiert dann mit einem Laser-Atom A und gibt seine Anregungsenergie ab. Die angeregten Energieniveaus E_A^* und E_B^* der beiden Atome A und B haben im Allgemeinen nicht die gleiche energetische Lage. Wegen der Energieerhaltung wird zusätzlich die Energiedifferenz $\Delta E = E_A^* - E_B^*$ frei, falls $\Delta E < 0$ gilt. Für $\Delta E > 0$ muss die Energiedifferenz aus einer anderen Quelle geliefert werden, z. B. durch die kinetische Energie der Atome. Für den Fall $\Delta E = 0$ heißt der Stoß resonant. Dann ist der Energieübertrag am effizientesten, da kein zusätzlicher Prozess die Energiedifferenz ΔE aufnehmen oder abgeben muss:



Stöße zweiter Art sind ein effizienter Anregungsprozess, wenn die Lebensdauer τ_2 des angeregten Niveaus von B^* groß ist. Dieser Zustand ist dann metastabil, und es wird eine hohe Dichte von angeregten Atomen B^* erzeugt (vgl. Gl. (3.54)). Diese hohe Dichte erlaubt, dass über Stöße durch die Atome B^* eine hohe Dichte angeregter Laser-Atome A^* erzeugt wird, auch wenn die Atome A^* eine kurze spontane Lebensdauer haben.

Die Entleerung des unteren Laserniveaus in den Grundzustand der Atome A erfolgt je nach Laser-Atom durch Stöße mit Elektronen, Atomen, der Gefäßwand oder durch spontane Emission.

Im Vergleich zu anderen Lasern sind bei Gas-Lasern oft viele optische Übergänge möglich, da eine große Zahl elektronischer Niveaus existiert und durch die Stöße besetzt wird. Es ist oft schwierig, für einen bestimmten Übergang Besetzungsinversion zu erreichen, da durch die Anregung der weiteren Niveaus die Anregungsenergie nur zu einem Bruchteil für den Laser-Übergang genutzt werden kann. Andererseits existieren durch die zahlreichen optischen Übergänge aber auch viele potenzielle Emissionslinien der Laserstrahlung.

Der technische Aufbau ist bei allen Gas-Lasern ähnlich. Das Lasergas ist in einem Gefäß, meist aus Glas oder Keramik und oft rohrförmig, eingeschlossen. Auf das Gefäß werden für den Strahlein- und -austritt Fenster aufgebracht. Dieses Gefäß wird in den Resonator eingesetzt. Das Gas muss bei einigen Lasern kontinuierlich erneuert werden, z. B. durch Umpumpen. Bei anderen ist das Gefäß abgeschlossen. Durch Elektroden, die im Inneren des Gefäßes oder außen auf dessen Wänden angebracht sind, wird die elektrische Entladung betrieben. Das Lasergas muss eine hohe Reinheit aufweisen, damit der Laser-Prozess nicht durch Verunreinigungen gestört wird.