Facharbeit für den Physik-Leistungskurs

Die Funktionsweise von Laserdioden und dessen Anwendung (exemplarisch)

Von Florian Wetzel

Abgabetermin: 10.03.2003

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG 3

2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN 4

2.1 BEGRIFF: „LASER“ 4

2.2 DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN LICHT UND GELADENEN TEILCHEN 4

2.2.1 Emission und Absorption von Lichtquanten 4

2.2.2 Die Besetzungsinversion 6

2.3 ELEMENTARE KOMPONENTEN EINES LASERS 6

3. FUNKTIONSPRINZIP DES HALBLEITERLASERS 6

3.1 DAS LASERMEDIUM 6

3.1.1 Energieniveaus beim Halbleiterlasermedium 7

3.1.2 Auswahlkriterien für den als Medium verwendeten Halbleiter 8

3.1.2.1 Die nötige Besetzungsinversion 8

3.1.2.1.1 Dotieren 8

3.1.2.2 Art der freiwerdenden Energie bei der Rekombination 9

3.1.2.3 Die erwünschte Wellenlänge 10

3.1.2.4 Der Rekombinationsort (aktive Zone) 10

3.2 DER OPTISCHE RESONATOR 11

3.2.1 Die Resonatorgröße 11

3.2.2 Die Resonatorgrenzflächen 11

3.3 DIE PUMPQUELLE 11

4. WEITERENTWICKLUNG DES HALBLEITERLASERPRINZIPS 12

4.1 DOPPELHETEROSTRUKTURLASERDIODE 12

4.2 INDEXGEFÜHRTE LASERDIODE 12

5. EINSATZ EINER LASERDIODE BEIM LASERDRUCKVORGANG 13

6. ABSCHLUSSBEMERKUNG UND AUSBLICK 14

7. LITERATURVERZEICHNIS 15

7.1 INTERNETQUELLEN 15

ERKLÄRUNG ZUR FACHARBEIT 16

Unterschrift
nicht bestätigt

Florian Wetzel

Digital unterschrieben von
Florian Wetzel
DN: cn=Florian Wetzel, c=DE
Datum: 2004.03.23 22:58:08
+01'00'
Ursache: Ich bin der
Verfasser dieses Dokuments.
Speicherort: Moers

1. Einleitung

Den Impuls zum Erstellen eines Fachreferates zu diesem Thema im Rahmen des Leistungskurses Physik entsprang der Konfrontation mit der Lasertechnik. Gelegentlich besuche ich Diskotheken, wo Lasertechnik für mich „sichtbar“ in Erscheinung tritt.
Ich kannte nie den klaren Unterschied zwischen einer Leuchtdiode und einer Laserdiode, was mich neugierig machte.
Des Weiteren bin ich im Computerbereich sehr interessiert und habe mich schon immer gefragt, wie die Halbleiterlaserdioden funktionieren. Sie sind mittlerweile aus unserem technischen Alltag kaum wegzudenken. Sie finden in Laserpointern, CD- und DVD-Spielern (und neuerdings auch in DVD-Recodern) Anwendung. Ich erfuhr, dass die DVD-Technologie mit Ihrer hohen Datendichte auf einer Scheibe erst durch die unglaublich exakte Fokussierbarkeit eines blauen Laserstrahls aus einer neuartigen Halbleiterlaserdiode möglich wird.
All diese Unwissenheit gepaart mit technischem Interesse verleitete mich dazu dieses als mein Facharbeitsthema zu wählen.
Wie ich merkte tangiert dieses Thema nicht nur rein elektrotechnische Aspekte der Physik. Es kommt ebenso Stoffcharakteristik und Optik zu einem nicht unbedeutenden Teil hinzu.
Ich versuchte stets zielgerichtet, so viel wie nötig ,und so wenig wie möglich anzusprechen, denn sonst hätte es den Rahmen dieser Facharbeit bei weitem gesprengt.

2. Physikalische Grundlagen

2.1 Begriff: „Laser“

Das Wort Laser ist die englischsprachige Abkürzung für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ und bedeutet etwa Lichtverstärkung durch stimulierte (erzwungene) Emission (Aussendung) von Strahlung.

2.2 Der Zusammenhang zwischen Licht und geladenen Teilchen

2.2.1 Emission und Absorption von Lichtquanten

Wird das Licht als elektromagnetische Strahlung einer bestimmten Wellenlänge aufgefasst, so lässt sich Lichtemission (Aussendung von Licht) erklären. Die Emission und Absorption (Aufnahme) von elektromagnetischer Strahlung (wozu Licht gehört) wird durch beschleunigte Bewegung elektrisch geladener Teilchen verursacht. Die Aussendung von Licht geschieht durch Elektronen bzw. deren Atome oder Moleküle, die beim Übergang von einem energetisch hohen in ein energetisch niedrigeres Niveau elektromagnetische Strahlung aussenden, die im wahrnehmbaren Spektralbereich des menschlichen Auges liegt.

Schon das Bohrsche Atommodell besagt, dass Elektronen nur ganz bestimme diskrete Energiewerte annehmen können, was bei seinem Modell Bahnen im unterschiedlichem Abstand zum Atomkern sind. Dabei streben alle Teilchen den energieärmsten Zustand an. Im Grundzustand (s. Bild 1: ‚E_0’)[1] können Atome oder Moleküle die Energie elektromagnetischer Strahlung *absorbieren* (aufnehmen) und gelangen dadurch in ein höheres Energieniveau, hier ‚E_1’ genannt.

Da die Energien der Lichtquanten immer ein Produkt aus dem Plankschem Wirkungsquantum h (Natur-Konstante), und der Wellenlänge ν der absorbierten Strahlung sind, besitzt das angeregte Teilchen in E_1 somit die Energie $E_1 = E_0 + h \cdot \nu$.

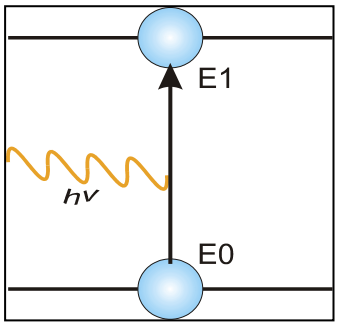

Bild 1: Absorption[1]

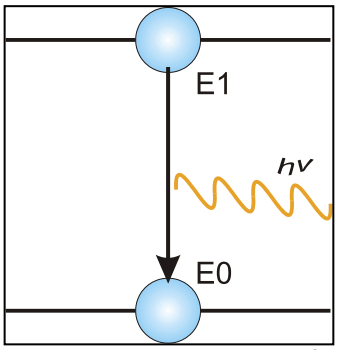

Bild 2: Spontane Emission[2]

[1] Bild nachgezeichnet aus http://www.ilt.fhg.de/ger/laserprinzip.html, Bild 1, Seite 1

Solch energiereiche Teilchen können diesen Zustand allerdings ohne fremde Beeinflussung nicht lange beibehalten, und kehren nach einer stoffspezifischen Zeit wieder in den Grundzustand zurück. Bei dieser Rückkehr wird der Energieerhaltung zufolge wieder Energie frei. Bei manchen Stoffen geschieht dies unter Emission eines Lichtquants mit der Energie $E_1 - E_0 = h \cdot \nu$. (s. Bild 2)[2]

"Da dies spontan, also ohne Wechselwirkung mit dem (Ein-)Strahlungsfeld und ohne Korrelation dazu geschieht, bezeichnet man den Vorgang als inkohärent. Die Emission des Lichtquants erfolgt hier in alle Richtungen gleich wahrscheinlich und zeitlich unkoordiniert (daher phasenverschoben und damit inkohärent)."[3] Diesen Emissionstyp bezeichnet man als ‚spontane' Emission.

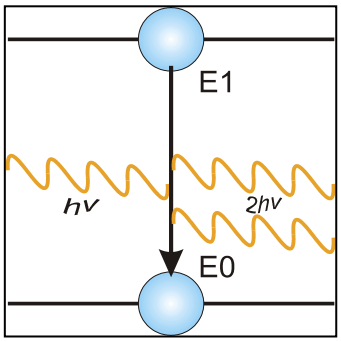

Bild 3: Stimulierte Emission[4]

Der zweite, der für die Laseraktivität prägnante Emissionstyp, wird ‚stimulierte' oder auch ‚induzierte' Emission genannt. Hier wird ein angeregtes Teilchen, dass sich im angeregten Zustand E_1 befindet, durch das äußere Strahlenfeld veranlasst frühzeitig das hohe Energieniveau zu verlassen. (s. Bild 3)[4]

„Dabei wird die gespeicherte Energie als ein Photon mit der Energie $h \cdot \nu$ an das Strahlungsfeld zurückgeliefert"[5]

Die Rückkehr des Teilchens in den Grundzustand heißt ‚Rekombination'.

Man könnte sagen, dass eine Lichtverstärkung durch stimulierte Emission statt gefunden hat. Dies ist das *Grundprinzip eines Lasers*. (siehe Definition bei 2.1)

„Erfolgen alle Lichtemissionsakte spontan, wie in einer gewöhnlichen Lampe, resultiert ein Strahlungsfeld, das aus der Überlagerung vieler Wellenzüge besteht, die beliebige Phasen besitzen und sich in beliebiger Richtung ausbreiten. Im Gegensatz dazu wird bei der stimulierten Emission das emittierende Atom durch das äußere Strahlungsfeld gezwungen, phasengleich mit dem Strahlungsfeld zu emittieren. Die Überlagerung sehr vieler solcher phasengleicher Wellenzüge führt zu einem Strahlungsfeld, das sich in eine bestimmte Richtung ausbreitet und dessen Amplitude sehr stabil ist."[6]

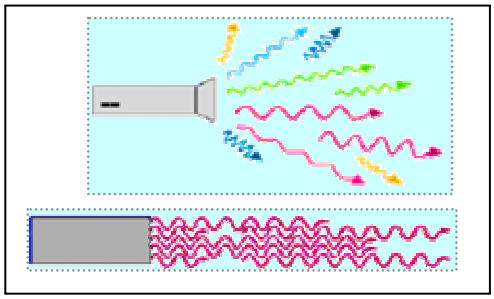

Bild 4: Koheränte Strahlung (Laser) und nicht kohärenter Strahlung (Taschenlampe)[8]

(Diese Eigenschaft nennt man auch ‚Kohärenz'.)

„Außerdem ist im Allgemeinen die spektrale Bandbreite der Strahlung erheblich kleiner als bei einer gewöhnlichen Lampe."[7] (siehe Vergleich im Bild 4)[8]

---

[2] Bild nachgezeichnet aus ebenda, Bild 2, Seite 1
[3] http://www.vitavonni.de/facharbeit/Prinzip_Lasers.html, Seite 1
[4] Bild nachgezeichnet aus http://www.ilt.fhg.de/ger/laserprinzip.html, Bild 3, Seite 1
[5] http://www.vitavonni.de/facharbeit/Prinzip_Lasers.html, Seite 2
[6] http://www.ilt.fhg.de/ger/laserprinzip.html, Seite 1

2.2.2 Die Besetzungsinversion

Um die Strahlenemission aus einem System durch induzierte Emissionen aufrecht zu erhalten, müssen sich mehr Teilchen im angeregten als im Grundzustand befinden, damit nicht durch die Absorptionen von Lichtquanten der Teilchen im niedrigeren Energiezustand die Kettenreaktion zusammenbricht. Wenn diese Energieniveauverteilung vorliegt, spricht man von einer ‚Besetzungsinversion'. Dies ist die Umkehrung der in der Natur normalerweise vorkommenden Verteilung, in der sich Teilchen hauptsächlich im niedrigen Energieniveau befinden.

Deshalb muss die Inversion künstlich durch ‚Hineinpumpen' von Energie herbeigeführt werden.

"Die Form der Energiezuführung kann ganz unterschiedlicher Natur sein. Sie kann durch Wärme, Lichteinstrahlung […] oder wie bei den Halbleiterlasern, durch Zuführung von elektrischer Energie erzeugt werden."[9]

2.3 Elementare Komponenten eines Lasers

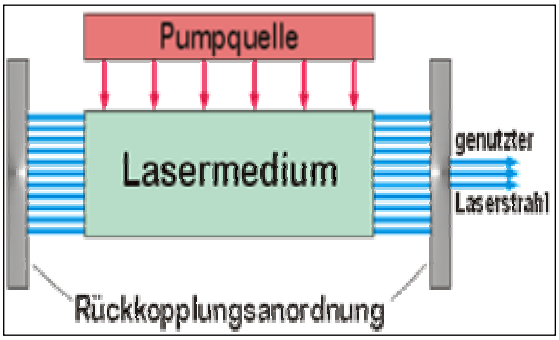

Bild 5: elementare Laserkomponenten: Pumpquelle, Lasermedium, Resonator[11]

„Drei Komponenten bilden die Basis jeden Lasersystems: ein Lasermedium, eine Energiequelle, Pumpenquelle genannt (da sie Energie in das Lasersystem ‚pumpt') und eine Rückkopplungsanordnung (Spiegel oder Gitter), die eine Oszillation im Lasermedium erlaubt."[10] (s. Bild 5)[11]

Diese elementaren Komponenten gelten auch für das Funktionsprinzip des Halbleiterlasers. (siehe Kapitel 3)

3. Funktionsprinzip des Halbleiterlasers

3.1 Das Lasermedium

Das Lasermedium muss - wie eingangs dargelegt - mindestens zwei Energieniveaus E_0 und E_1 haben, die einen Quantenunterschied von $h \cdot \nu$ aufweisen. Ebenso muss das Medium beim Übergang von E_1 zu E_0 frei

---

[7] ebenda
[8] Bildquelle: http://www.trumpf.com/1.img-cust/Fasz-Blech_Kapitel_06 Laser_Materialbearbeitung.pdf, Seite 58 (Buchversion); Seite 4 (digitale Version)
[9] http://spot.fho-emden.de/It/Diodenlaser/basic.htm
[10] http://www.vitavonni.de/facharbeit/Prinzip_Lasers.html, Seite 2 von 5
[11] Bild ohne konkrete Vorlage selbst erstellt

werdende Energie in Form von Lichtquanten abgeben. Im Rahmen dieser Facharbeit wollen wir nur Laser betrachten, die Halbleiter als Lasermedium verwenden. Aber nicht jeder Halbleiterstoff ist für den Lasereinsatz geeignet, deswegen müssen wir uns zunächst mit den Eigenschaften von Halbleitern auseinandersetzen.

3.1.1 Energieniveaus beim Halbleiterlasermedium

Alle hier in Frage kommenden Halbleiter haben kristalline Festkörperstruktur, die sich durch regelmäßig aufgebaute Gitterstrukturen kennzeichnen. Das können Ionengitter, Atomgitter, als auch Metallgitter sein.

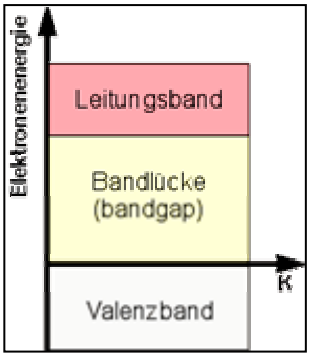

Bild 6: Bandstruktur im Festkörper[12]

Das Bestreben der an chemischen Bindungen beteiligten Atome ist es, einen möglichst energiearmen Zustand zu erreichen. Dazu nehmen die Elektronen der äußersten Schale an Bindungsstrukturen teil. Wie in 2.2.1 erwähnt, können Elektronen und deren Atome oder Molekühle nur ganz bestimmte Energieniveaus einnehmen.
Im Bändermodell (Bild 6)[12] werden die diskreten Energieniveaus der Elektronen in Bändern eingeteilt, und gegen die Koordinate ‚K' im Kristall aufgetragen. Die genaue Lage der Bandgrenzen ist allerdings oft ortsabhängig. (Bild 6 ist eine vereinfachte Darst.) „Die Elektronen, welche an der chemischen Bindung beteiligt sind, haben relativ niedrige Energiewerte und gehören zum so genannten ‚Valenzband'. Es ist aber auch möglich, dass einzelne Elektronen höhere Energien annehmen. Sie sind dann im Kristall quasi frei beweglich. Solche Elektronen stehen für die elektrische Leitung, also den Stromtransport zur Verfügung."[13] Ist dies der Fall befinden sich die Elektronen im Leitungsband.

Stoffart	Bandlücke	Spez. Widerstand
Isolatoren	$E_B > 3$ eV	$10^7 – 10^{16}$ Ωm (hoch)
Halbleiter	$0 < E_B > 3$ eV	$10^{-4} – 10^2$ Ωm (mittel)
Metalle	Keine	$\approx 10^{-7}$ (klein)

Tabelle 1: Größe der Bandlücke und des spezifischen elektrischen Widerstandes verschiedener Stoffarten[14]

Bei Halbleitern gibt es zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband Energieniveaus, die ein Teilchen nie annehmen kann. Diese werden in der ‚Bandlücke' zusammengefasst. Je größer die Bandlücke eines Stoffes ist,

[12] Bild nachgez.: http://www.informatik.tu-cottbus.de/~wwwteci/student/vl/info5/infv1-k6.pdf, S. 5
[13] ebenda, Kapitel 6.2.5

desto mehr Energie muss man zunächst investieren um den Stoff elektrisch leitend zu machen. Der Wechsel vom Valenz- ins Leitungsband verläuft immer sprungweise (gequantelt) und erst, wenn das Elektron vollständig die Energie zur Überwindung der Bandlücke zur Verfügung hat.
Bei relativ kleinen Bandlücken kann schon die Umgebungstemperatur die Elektronen von Atomen oder Molekülen ins Leitungsband heben. Deswegen besitzen Isolatoren eine sehr große Bandlücke, Metalle hingegen keine (sie leiten den Strom immer). (s. Tabelle 1)[14]
Das Bändermodell ist also sowohl geeignet um Rückschlüsse auf die Eigenleitfähigkeit eines Stoffes zu ziehen, als auch in der Lage, die Emission bzw. Absorption von elektromagnetischer Strahlung zu beschreiben, da es zwei Elektronenenergieniveaus beim Halbleiter aufzeigt, dessen Bandgrenzen nicht unmittelbar aneinander grenzen.

3.1.2 Auswahlkriterien für den als Medium verwendeten Halbleiter

3.1.2.1 Die nötige Besetzungsinversion

Da beim Halbleiterlaser elektrischer Strom die Pumpquelle ist (siehe 2.3), ist es prinzipielles Ziel möglichst viel Strom durch das Lasermedium fließen zu lassen, da die Besetzungsinversion mit höherem Stromfluss zunimmt. Die Stromstärke findet jedoch ihre Grenze in der Zerstörung der Kristallstruktur durch Wärme.
Hat der Stoff eine zu geringe Eigenleitung, befinden sich unter Normalbedingungen zu wenige Elektronen im Leitungsband. Es müssten erst durch Aufwenden großer Energiemengen Leitungsband-Elektronen verfügbar gemacht werden.
„Man benötigt Bauelemente, deren Leitfähigkeit viel größer ist und von außen durch eine Spannung oder einen Strom gesteuert werden kann. Dieses gelingt durch gezielten Einbau von Fremdatomen, das so genannte Dotieren.“[15]

3.1.2.1.1 Dotieren

Die Halbleiterelemente Germanium und Silizium gehören zur IV. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente, haben also 4 Elektronen auf der äußersten Schale. Sie bilden mit jeweils vier gleichen Nachbaratomen ein Kristallgitter. Ersetzt man im Gitter eines solchen Halbleiters ein Atom z.B. durch ein Phosphor- oder Arsenatom der V. Hauptgruppe, werden nur vier der fünf

---

[14] Daten aus http://www.informatik.tu-cottbus.de/~wwwteci/student/vl/info5/infv1-k6.pdf, S. 7
[15] http://spot.fho-emden.de/lt/Diodenlaser/technic.htm, Seite 1 von 2

Valenzelektronen des hinzugefügten Atoms für die Bindung zu den vier Nachbarn benötigt.

„Das fünfte Valenzelektron bleibt, da es keine Valenzbindung eingeht, nur schwach an das Fremdatom gebunden. […] Es wird sehr viel wahrscheinlicher ins Leitungsband gehoben als ein anderes Elektron, da die dazu nötige Energie viel geringer ist. Ein so dotierter Halbleiter wird n-dotiert oder n-Leiter (n wie negativ) genannt, da die negativ geladenen Elektronen den Ladungstransport übernehmen.“[16]

Dotiert man zum Kristall ein dreiwertiges Atom (z.B. Bor, Aluminium oder Indium), dann fehlt zur Herstellung der Bindung zu den vier benachbarten Atomen des Halbleiterelements ein Elektron in der äußeren Schale. Dafür kann ein anderes Elektron aus der Valenzschale einspringen, und verursacht an seinem Herkunftsort einen Mangel an negativer Ladung, so dass eine Potentialdifferenz auftritt. Besetzen nun wieder andere Elektronen das ‚Loch' (Ort fehlender negativer Ladung) und hinterlassen an deren Ursprung wieder ein Loch, bildet sich ein so genannter ‚Löcherstrom'. Da beim Löcherstrom positive Ladung (entgegen der Bewegungsrichtung negativer Ladung) transportiert wird, ist der Stoff ‚p-leitend', weil er ‚p-dotiert' wurde.
Es ist möglich Stoffe so zu dotieren, dass sie sowohl n- als auch p-leitend sind.

3.1.2.2 Art der freiwerdenden Energie bei der Rekombination

Wie schon eingangs erwähnt, ist nicht jeder Halbleiter für den Einsatz als Lasermedium geeignet. Elementare Halbleiter (z.B. Silizium) sind ungeeignet, da sie bei der Rekombination nicht Licht- sondern Wärmeenergie freisetzen.

„Hier erfolgt die Rekombination eher ‚zögerlich'. Das Elektron springt nicht direkt ins Valenzband zurück, sondern rekombiniert ‚in Raten' über Zwischenniveaus in der Bandlücke, die durch Störungen im Kristall und geringe Verunreinigungen mit Fremdatomen verursacht sind. Man bezeichnet sie auch als ‚indirekte Halbleiter'.“[17]

Bei den so genannten ‚direkten' Halbleitern rekombinieren Elektronen auf direktem Wege unter Aussendung eines Lichtquants, was je nach Material ein Lichtquant im Bereich des infraroten, oder des sichtbaren Lichts sein kann.[18]
Also sind nur direkte Halbleiter als Lasermedium einsetzbar. Diese sind so genannte Verbindungshalbleiter, die nach den Gruppen der beteiligten Elemente des Periodensystems klassifiziert werden. Zum Beispiel handelt es sich beim Gallium-Arsenid (GaAs) um einen so genannten ‚III-V-Halbleiter'.

---

[16] ebenda, Seite 2 von 2
[17] http://www.informatik.tu-cottbus.de/~wwwteci/student/vl/info5/infv1-k6.pdf, Kapitel 6.5
[18] sinngemäß in: ebenda, Kapitel 6.4

3.1.2.3 Die erwünschte Wellenlänge

Die Wahl des Halbleitermaterials hängt nicht zuletzt von der Größe seiner Bandlücke ab, denn sie legt die Wellenlänge des emittierenden Lichts fest, und damit auch geometrische Faktoren wie die Laserstrahlbreite. Je kleiner die Wellenlänge des emittierenden Lichts, desto feiner ist der Strahl zu fokussieren.

3.1.2.4 Der Rekombinationsort (aktive Zone)

Würde man einen nach den bereits beschriebenen Kriterien ausgewählten und als n-Leiter präparierten Halbleiter mit einer Spannungsquelle verbinden, ergäbe sich jedoch nicht einmal durch spontane Emissionen eine nennenswerte Lichtabgabe, denn die Elektronen würden stets im Leitungsband gehalten, da ihnen die elektrische Spannungsquelle kontinuierlich Energie zuführte.
Diese Elektronen müssten, um während des Stromflusses rekombinieren zu können, auf einen Stoff treffen, dessen Leitungsband energetisch höher ist als das des n-Leiters, und der ausreichend viele Löcher in seinen Valenzband besitzt. In der technischen Praxis werden deshalb n- und p-Leiter-Schichten zusammengeführt, wobei das für die Halbleiterlasertechnik Entscheidende an der Grenzschicht stattfindet. Eine solche Anordnung nennt man ‚Diode'.

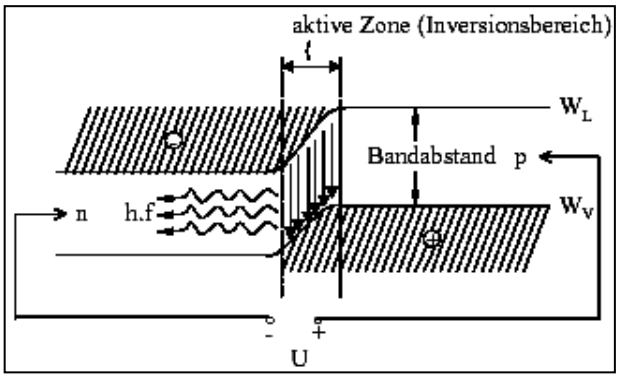

Bild 7: Energiebetrachtung am pn-Übergang[19]

Tritt das Elektron nun in den p-dotierten Halbleiterstoff ein, ist das Bestreben der elektrischen Spannungsquelle durch Zufuhr von elektrischer Energie das Elektron im Leitungsband zu halten, geringer als das Bestreben des Elektrons den energieärmeren Zustand durch Rekombination zu erreichen. Deshalb besetzen die Elektronen, unter Abgabe elektromagnetischer Strahlung die Löcher im Valenzband des p-Leiters. Die Zone in der Elektronen dies tun nennt man beim Laser ‚aktive Zone'. (siehe Bild 7)[19]
Da unserer Diode allerdings ein Resonator fehlt, finden ausschließlich spontane Emissionen statt. Dieses beschriebene Prinzip zur Lichtzeugung findet man als elektrotechnisches Bauteil in Form einer ‚LED', einer **L**icht **e**mittierende **D**iode.

---

[19] Bildquelle: http://www.telematik.informatik.uni-karlsruhe.de/lehre/SS00/vorlesungen/MDKS-Unterlagen/Optische-Nachrichtentechnik-Folien.pdf, Seite 69

3.2 Der optische Resonator

3.2.1 Die Resonatorgröße

„Die Strahlung eines Lasers wird innerhalb des optischen Resonators hin - und her reflektiert. […] Wenn die Wellenlänge des Strahlungsfeldes ein Vielfaches des doppelten Spiegelabstandes beträgt, überlagern sich die Teilwellen konstruktiv, andernfalls destruktiv.“[20]

Somit ist die Exaktheit des Abschneidens bzw. Abbrechens des Halbleiters ein Qualitäts- und somit auch Wirkungsgradsmerkmal. Außerdem würde eine Ausdehnung des Resonators also auch zu einer ‚destruktiven Überlagerung' der Teilwellen führen, was bedeutet dass der Resonator unter Umständen gekühlt werden muss. Dies geschieht oft durch die großflächigen elektrischen Kontakte. Bestreben der Forschung ist es den Resonatorraum möglichst klein zu gestalten, um dadurch auch die Spektralbreite des emittierten Lichts einzuschränken, weil dadurch inkohärenten Wellenzügen weniger Ausdehnungsraum zur Verfügung gestellt würde.

3.2.2 Die Resonatorgrenzflächen

Durch Polierung der Grenzflächen des Halbleiters erhöht man die optische Dichte dieser Fläche. Dadurch werden die ausgesandten Wellen dort in die aktive Zone zurück reflektiert, wobei man bei einer Spiegelfläche des Halbleiters gezielt ca. 2% der Strahlung zur Nutzung austreten lässt. Jedoch:

„Der optimale Wert für maximale Leistungsauskopplung hängt von der Verstärkung des aktiven Lasermediums und den Verlusten durch Absorption, Streuung und Beugung ab.“[21]

3.3 Die Pumpquelle

Wie schon angedeutet wurde wird beim Halbleiterlaser die Besetzungsinversion durch einen elektrischen Strom erreicht, eine Spannungsquelle ist hier ‚Pumpquelle'. Doch erst wenn eine bestimmte Stromstärke (‚Schwellenstrom') erreicht ist, genügt die Besetzungsinversion für Laser-Aktivität.

---

[20] http://www.ilt.fhg.de/ger/optresonator.html, 4. Abschnitt, keine Seitenangabe möglich
[21] ebenda, 5. Abschnitt, keine Seitenangabe möglich

4. Weiterentwicklung des Halbleiterlaserprinzips

Der Schwellenstrom ist bei der bereits beschrieben Form der Laserdiode sehr hoch. Er würde im Dauerbetrieb zu einer Überhitzung bzw. Zerstörung dieser führen. Deswegen widmete man sich der Entwicklung einer mehrschichtigen Laserdiodenbauform, die einen niedrigeren Schwellenstrom benötigt.

4.1 Doppelheterostrukturlaserdiode

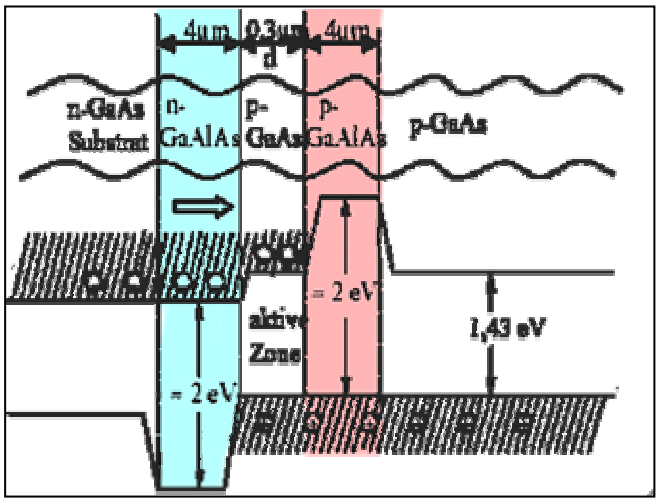

Bild 8: p-n-Übergang bei der Doppelheterostruktur[22]

Bestimmte zusätzliche Schichtfolgen aus p- und n-dotierten Halbleitern erzeugen eine größere Energiedifferenz der Leitungsbänder. Beim Beispiel der auf dem direkten Halbleiter ‚GaAs' beruhenden Laserdiode (Bild 8)[22] sind die Halbleiterstrukturen p – $Ga_{1-x}Al_xAs$ und n – $Ga_{1-x}Al_xAs$ hinzugefügt worden. Dies wirkt wie eine zusätzliche Barriere für die Elektronen, die nicht beim p-n-Übergang sofort in das Valenzband zurückgekehrt sind. Da die aktive Zone nun energetisch stärker begrenzt ist, lässt sie sich wesentlich kleiner gestalten. Das ist von Vorteil, da kleinere Bauteilgrößen den Schwellenstrom herab setzen, weil sich die Besetzungsinversion hier leichter aufbauen lässt.

4.2 Indexgeführte Laserdiode

Diese Laserdiode stellt eine Weiterentwicklung der Doppelheterostrukur dar. Hier wird die aktive Zone nicht nur oben und unten sondern auch seitlich von Halbleiterschichten begrenzt welche einen niedrigeren Brechungsindex haben, wodurch auch die seitlich emittierenden Wellen reflektiert und optisch weiter genutzt werden. (Bild 9)[23]

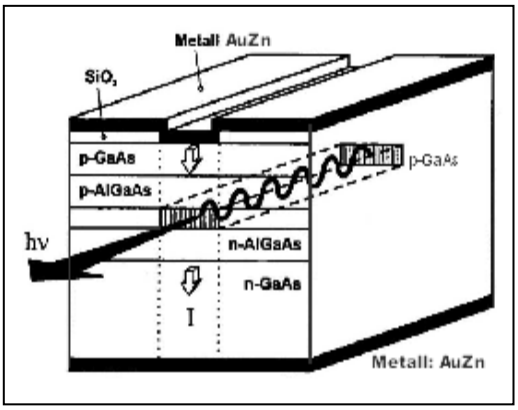

Bild 9: Indexgeführte Laserdiode[23]

[22] farbliche Hervorhebungen im Bild durch Verfasser vorgenommen; Bildquelle: s. Literaturverz.
[23] Bildquelle: http://www.uni-konstanz.de/quantum-optics/homepages/ralf/laserphysik.pdf, Abb 5

5. Einsatz einer Laserdiode beim Laserdruckvorgang

Im Inneren des Laserdruckers befindet sich als Kernstück eine Aluminiumtrommel, auf der eine sehr dünne lichtempfindliche fotoleitfähige Selenschicht aufgetragen ist. (s. Bild 10)[24] Ohne Lichteinfall ist sie sehr hochohmig.

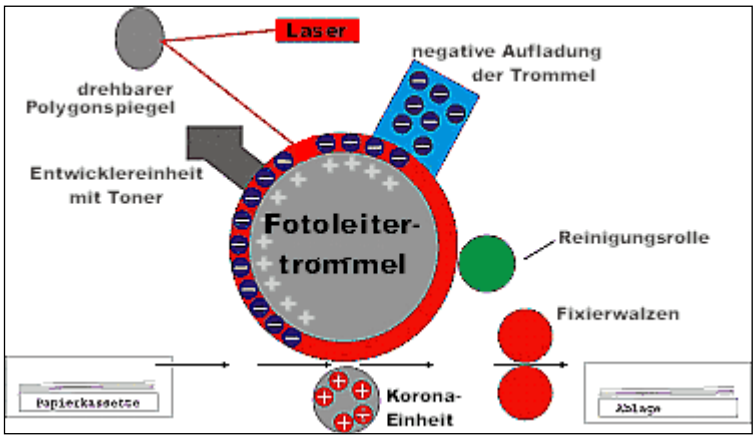

Bild 10: Schematischer Aufbau eines Laserdruckers[24]

Zunächst wird die Trommelaußenfläche negativ geladen. Das Trommelinnere ist stets positiv geladen. Die Belichtung der fotoleitfähigen Selenschicht auf der sich drehenden Trommel geschieht durch einen in einer Halbleiterlaserdiode erzeugten Laserstrahl, der je nach Pixel-Muster ein- oder ausgeschaltet wird. Dieser ‚Schreibvorgang' muss natürlich mit der Drehgeschwindigkeit der Trommel synchronisiert ablaufen. Der Laserstrahl wird über einen rotierenden Polygonspiegel (Spiegel aus vielen gegeneinander geneigten Flächen) zeilenweise auf die Trommel gelenkt. Die Stellen, die später weiß bleiben sollen, belichtet der dazu eingeschaltete Laserstrahl, wodurch dort die fotoleitende Schicht niederohmig wird und die zuvor aufgetragene Ladung zum Aluminiumtrommel-Inneren abfließt. Einige Drehgrade weiter wird das nun elektrostatisch aufgetragene Bild an einer Tonereinheit vorbeigeführt, welche negativ geladene Tonerpartikel bereithält. Das Tonerpulver wird an den nicht belichteten Stellen elektrostatisch angezogen und festgehalten. Das Tonerpulver muss nur noch im Papier verankert werden, denn es ist ja bis jetzt nur ein loser Auftrag, der elektrostatisch an der Trommel festhält. Dazu wird das Papier einer ‚Korona-Einheit' zugeführt, die das Papier von unten elektrostatisch positiv auflädt, wodurch die negativ geladenen Tonerpartikel von der Trommel auf das Papier übergehen und dort elektrostatisch festhalten. Das Papier wird abschließend durch Fixier- bzw. Heizwalzen geführt. Durch die Hitze (≈ 160 °C) schmelzen die Tonerpartikel und werden durch die Walzrollen im Papier verankert. Nun ist das Papier fertig bedruckt und wird in die Ablage weitergeführt. Abschließend wird die Trommel entladen und gereinigt.

---

[24] Bildquelle: http://www.noesse.de/infothek_Laser.php

6. Abschlussbemerkung und Ausblick

Die Forschung sieht noch viele Weiterentwicklungsmöglichkeiten bei der Halbleiterlaserdiode. Man versucht weiterhin den Schwellenstrom zu senken und die Bauteilmaße zu verringern. Es gibt einige weitere Bauformen, die dies bereits erstaunlich gut ermöglichen. Leider konnte ich sie hier, im Rahmen der Facharbeit nicht alle nennen und deren Funktionsweise beschreiben.
Ebenfalls konzentriert man sich auf die Weiterentwicklung kurzwelligerer Halbleiterlaserdioden. Dies hat nicht zuletzt folgende Gründe:
“Das menschliche Auge ist im grünen Spektralbereich empfindlicher als im roten, ein grüner Laser muss also, um gleich hell zu wirken, nur eine geringere Leistung erbringen. Mit der kürzeren Wellenlänge wird aber auch der Strahl präziser. Mit einem blauen Laser kann man also die Speicherkapazität von (DVD)-CD-ROMs und Hologrammen deutlich erhöhen.“[25]
Man darf gespannt darauf warten, dass aufgrund der geringeren Größe des Lichtpunktes des blauen Lasers (nur halb so groß wie beim roten) auch Drucker auf den Markt kommen, deren Auflösung viel besser sein wird als der aktuelle Standard.

[25] http://www.vitavonni.de/facharbeit/Halbleiterlaser.html, Seite 4 von 7

7. Literaturverzeichnis

7.1 Internetquellen

1. http : // www.ilt.fhg.de / ger / laserprinzip.html

“Laserprinzip“, 13.01.2003

2. http : // www.vitavonni.de / facharbeit / Prinzip_Lasers.html

„Das Prinzip eines Lasers“, 06.03.2003

3. http : // www.trumpf.com / 1.img-cust / Fasz-Blech_Kapitel_06-Laser_Materialbearbeitung.pdf

“Auszug aus dem Buch: Faszination Blech – Flexible Bearbeitung eines vielseitigen Werkstoffs“

Autoren: Dr. Bitzel, H.; Borchert, J.; Müller, J.; Neidhardt, F.; Dr. Parey, K.; Rau, A.; Riecke, S.; Schmid, A.; Trentmann, G.; Vorländer, G.; Zimmermann, K.

Herausgeber: TRUMPF GmbH + Co, Ditzingen

Verlag: Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH; 1996 erschienen in Stuttgart, Berlin, Bonn, Budapest, Heidelberg, Prag, Wien

4. http : // spot.fho-emden.de/ lt / Diodenlaser / basic.htm

“Laser Grundlagen“, 06.03.2003

5. http : // www.informatik.tu-cottbus.de / ~wwwteci / student / vl / info5 / infv1-k6.pdf

„Informatik V-Teil 1, Kapitel 6, WS 02/03“, 13.01.2003

6. http : // spot.fho-emden.de/ lt / Diodenlaser / technic.htm

„Grundlagen zur Halbleitertechnik“, 06.03.2003

7. http : // www.telematik.informatik.uni-karlsruhe.de / lehre / SS00 / vorlesungen / MDKS-Unterlagen / Optische-Nachrichtentechnik-Folien.pdf

„Moderne Datenkommunikationssysteme – Teil II: Optische Nachrichten-technik“, 08.03.2003

8. http : // www.ilt.fhg.de / ger / optresonator.html

„Fraunhofer ILT – Laser-Tutorial – Optischer Resonator“, 04.03.2003

9. http : // www.noesse.de / infothek_Laser.php

„Nösse Datentechnik – Laserdrucker-Abc“, 13.01.2003

Sämtliche übernommenen Textstellen schon im Fließtext kenntlich gemacht.

Erklärung zur Facharbeit

Ich erkläre, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

F. Wetzel