

Verschiedene Lasertypen

Festkörperlaser

- Rubin
- Neodym (Glas, YAG, YLF)
- Titan Saphir
- Farbzentrenlaser

Gaslaser

- He-Ne
- Kupfer- und Golddampf
- Argonionen
- Excimer
- N₂, CO₂, CO, ...

Farbstofflaser

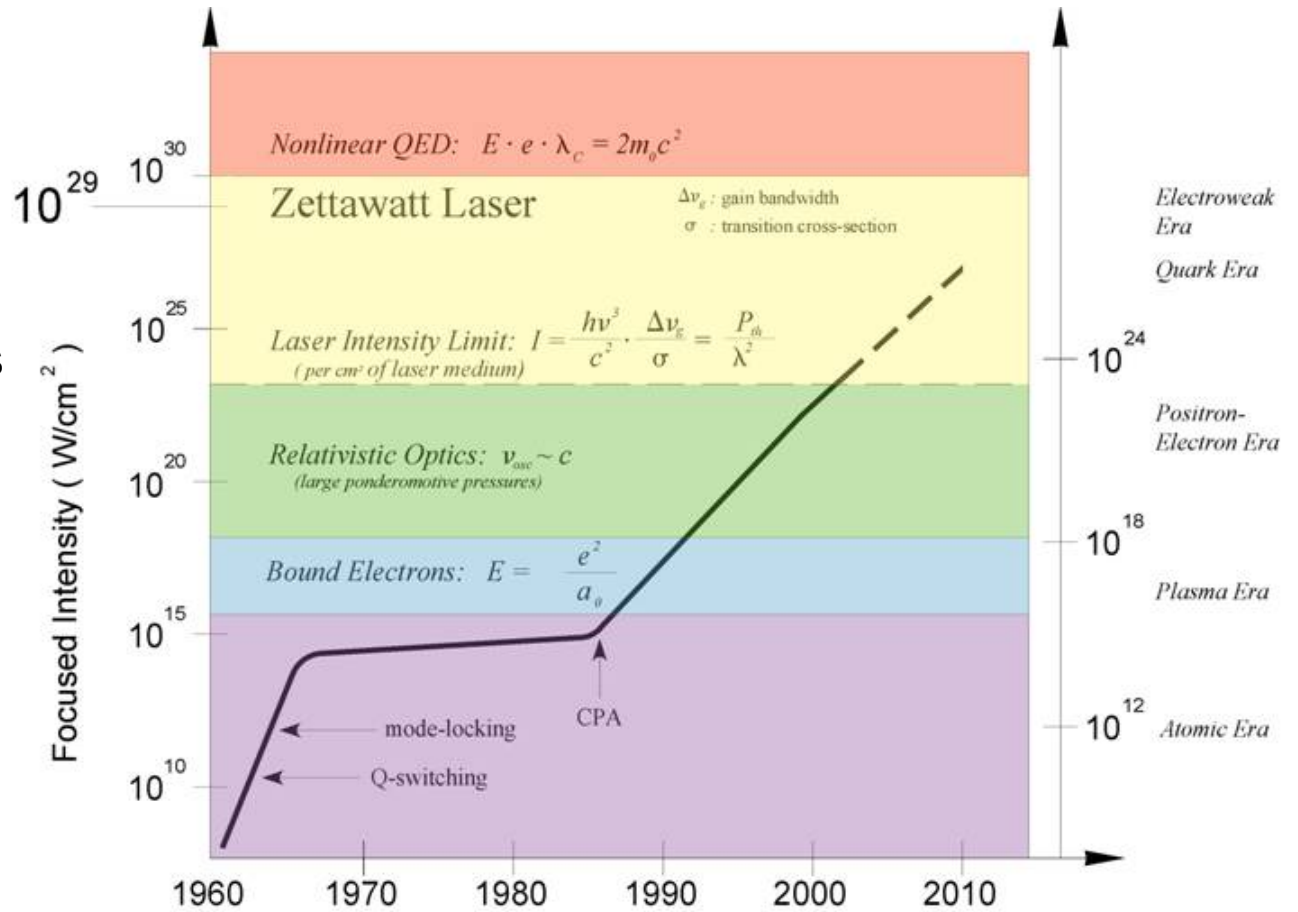
Halbleiterlaser

Free Electron Laser

LASER

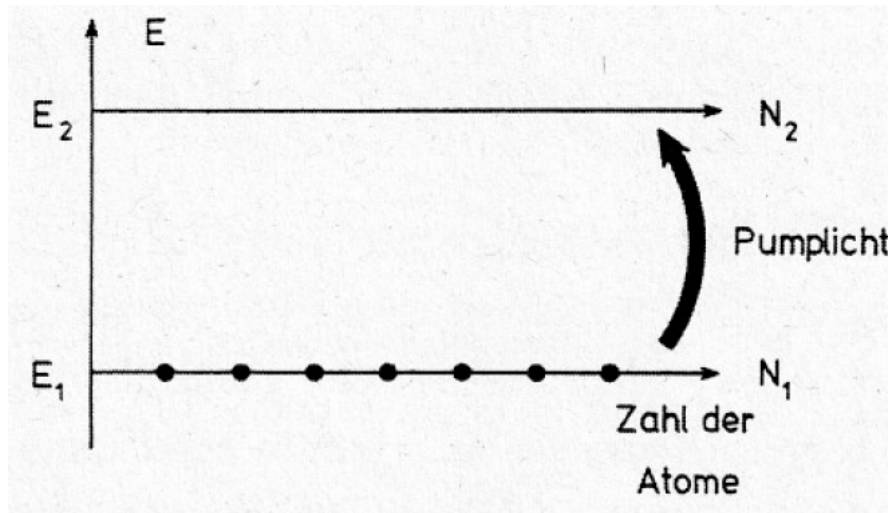
1958
Schawlow and Townes
Concept Invention

1960
Theodore Maiman
first laser (Ruby)

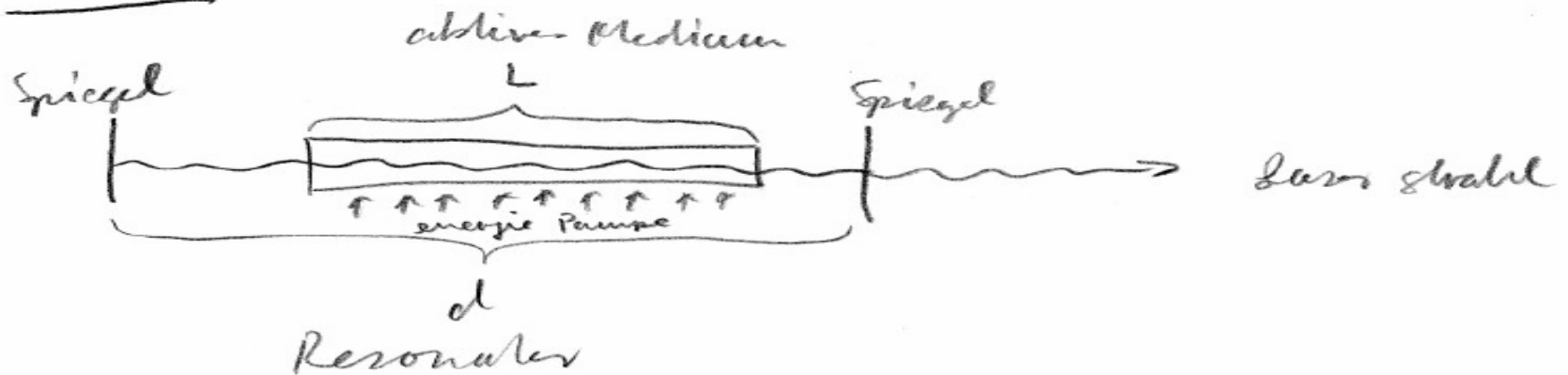


LASER

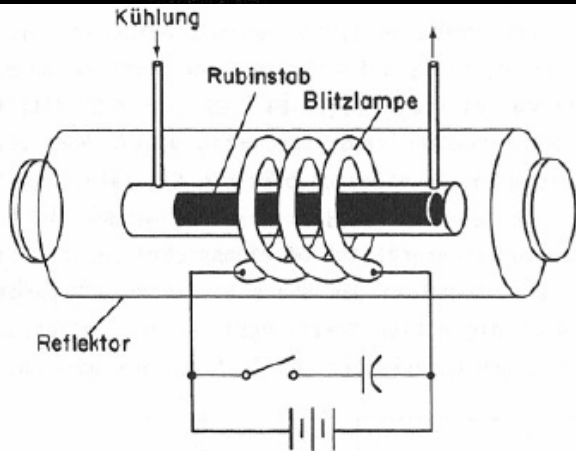
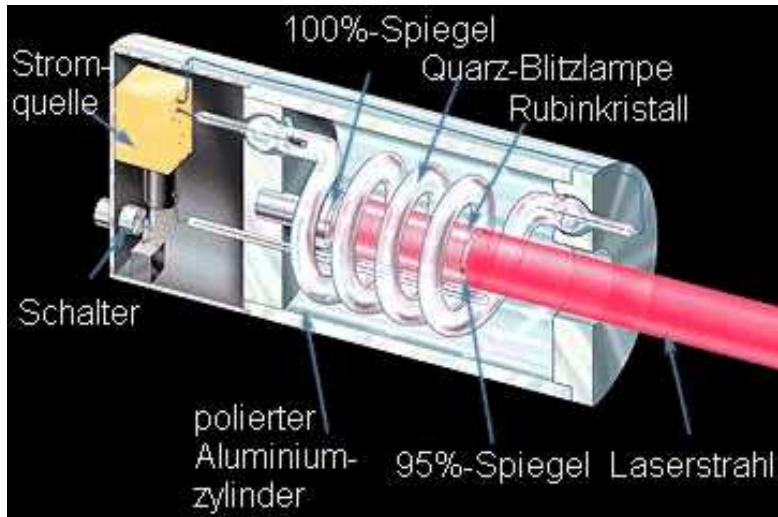
aktives Medium: Besetzungsinversion -> Verstärkung, stimulierte Emission



Resonator: Feedback



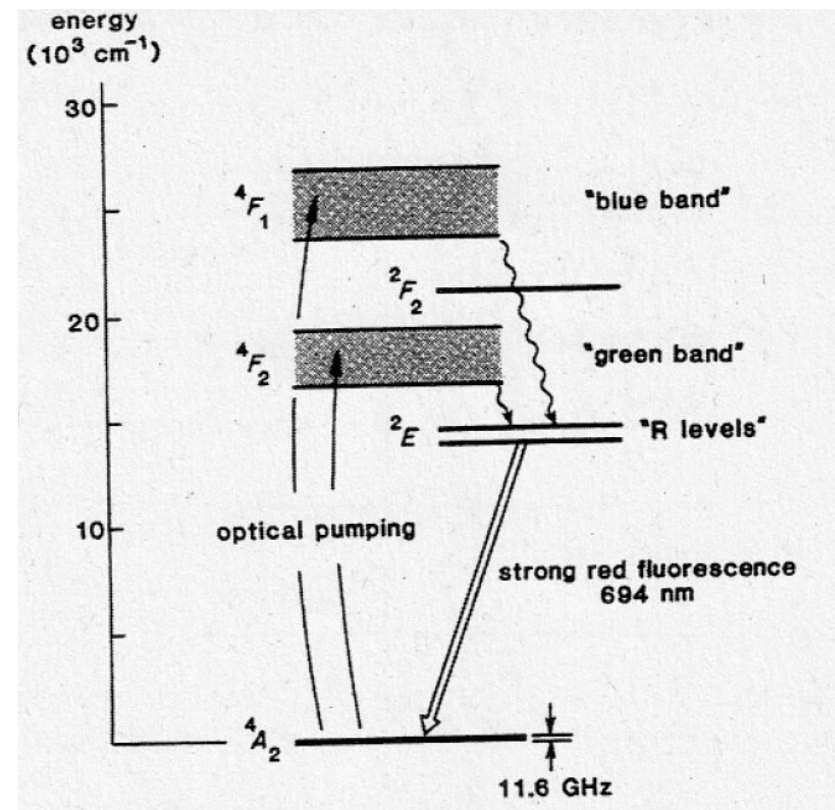
Rubinlaser



Betriebsart	Wellenlänge	Spitzenleistung	Pulsdauer
Normalpuls	694,3 nm	≈ 100 kW	< 0,5 ms
Q-switch	694,3 nm	10-50 MW	10-20 ns
Modenkopplung	694,3 nm	einige GW	10-30 ps
cw	694,3 nm	1 mW	∞



Theodor Maiman, 1960



Neodym YAG Laser

Nd³⁺ Ionen in Yttrium-Aluminium-Granat (YAG)

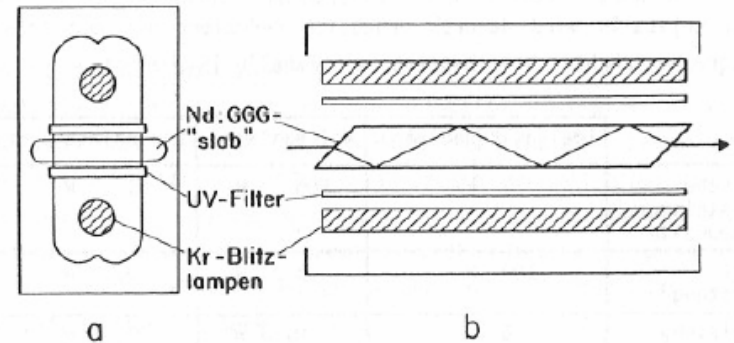
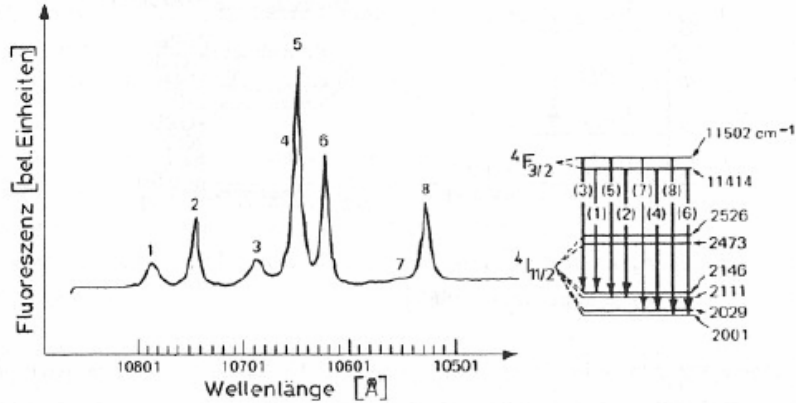
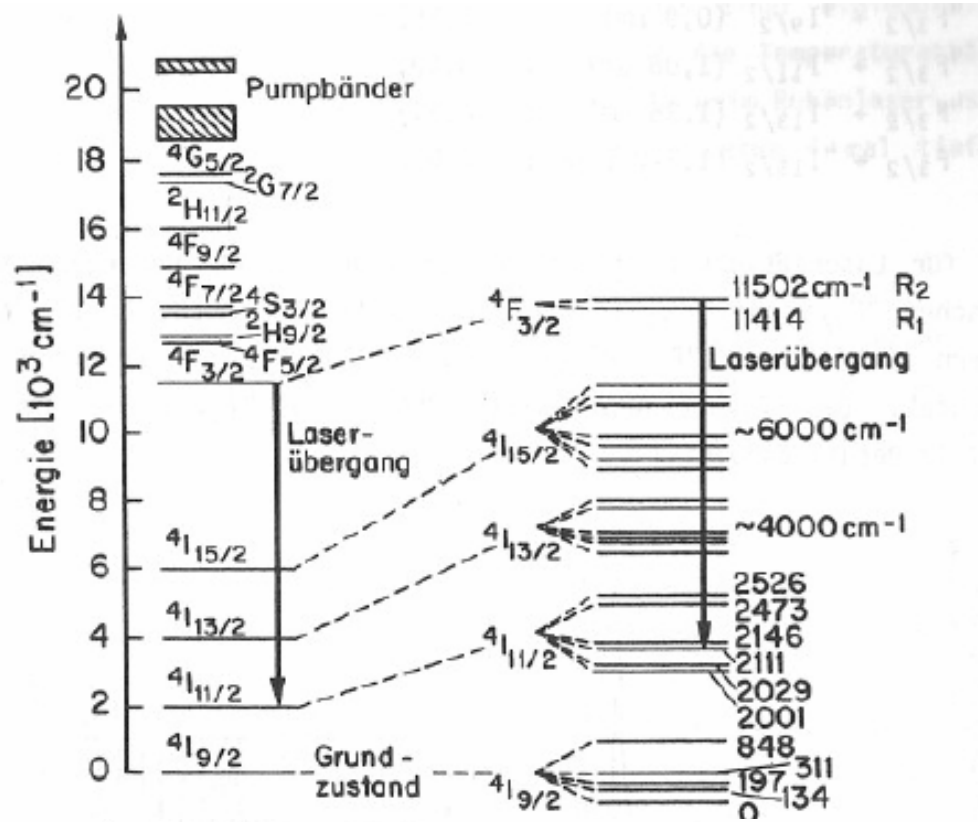


Fig. 15-8 Nd:GdGG-Laser mit "slab"-Geometrie
 a) Querschnitt [nach Maeda et al. 1987]
 b) Seitenansicht

Optisches Pumpen mit Diodenlasern

	Edelgas-Bogenlampe	Wolframlampe	Diodenlaserarray
Elektrische Eingangsleistung der Pumpquelle	2 kW	500 W	1 W
Nutzbare Pumpleistung	100 W	5 W	0,2 W
Laserleistung (TEM ₀₀)	8 W	0,23 W	0,06 W
Totaler Wirkungsgrad	0,4 %	0,04 %	6 %
Typ. Lebensdauer der Pumpquelle	400 h	100 h	5000 h

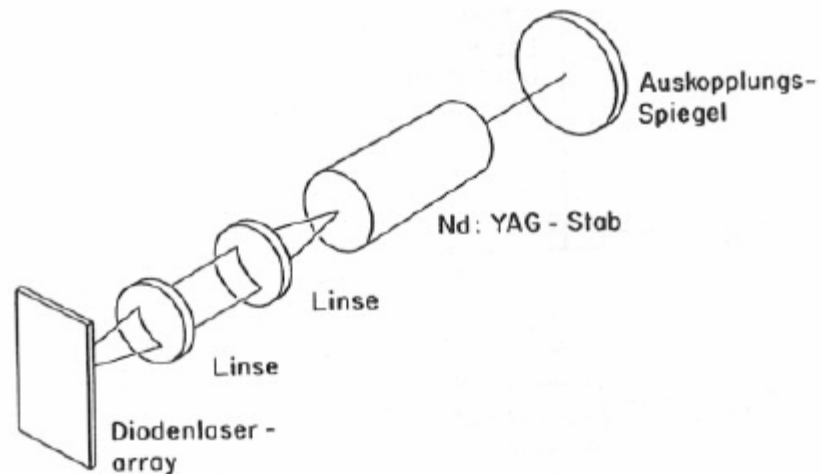


Fig. 15-9 Geometrische Anordnung eines Diodenlaser-gepumpten Nd:YAG Lasers [nach Baer 1986]

Neodym Glas Laser

Glas

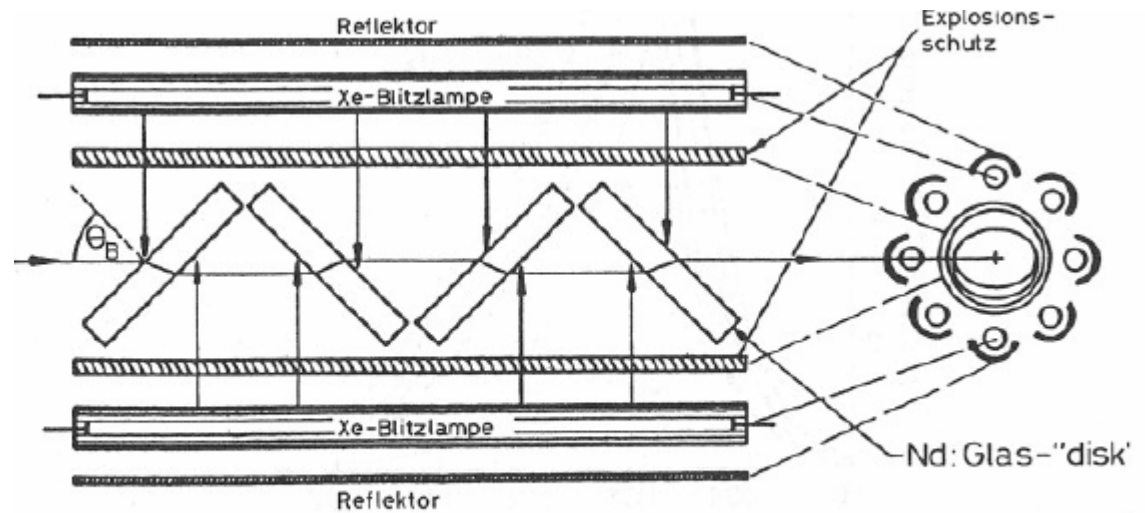
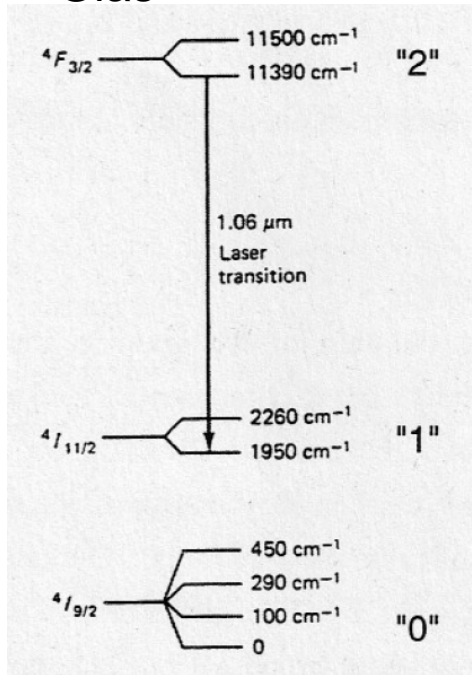
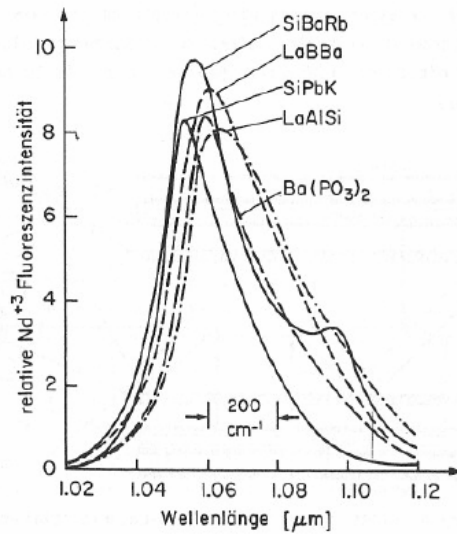


Fig. 15-12 Diagramm eines typischen Nd:Glas-Laserverstärkers [nach Brown 1981]



Betriebsart	Nd:YAG		Nd:Glas	
	Spitzenleistung	Pulsdauer	Spitzenleistung	Pulsdauer
Normalpuls	10 kW	1-5 ms	< 50 MW	10-20 ns
Q-switch	< 50 MW	10-20 ns	< 50 MW	10-20 ns
Modenkopplung	einige GW	20 ps	einige 10 GW	5 ps
CW	10-150 W	∞	—	—

Vergleich Rubin, Nd:YAG und Nd:Glas

Parameter		Rubin	Nd:YAG	Nd:Glas
Laserwellenlänge	[nm]	694,3	1064,1	1062,3
Wirkungsquerschnitt für stimulierte Emission	[cm ²]	2,5·10 ⁻²⁰	88·10 ⁻²⁰	3·10 ⁻²⁰
Spontane Lebensdauer des oberen Laserniveaus	[μs]	3000	240	300
Dotierungskonzentration	[cm ⁻³]	1,6·10 ¹⁹	1,4·10 ²⁰	2,8·10 ²⁰
Dotierungskonzentration	[Gew. %]	0,05	0,75	3,1
Fluoreszenz-Linienbreite	[cm ⁻¹]	11	6,5	300
Wärmeleitfähigkeit bei 300 K	[Wm ⁻¹ K ⁻¹]	42	14	1,2
Nötige Inversion für Verstärkung von 1 % cm ⁻¹	[cm ⁻³]	8·10 ¹⁸ a) + 4·10 ¹⁷	1,1·10 ¹⁶	3,3·10 ¹⁷
Gespeicherte Energie für Verstärkung von 1 % cm ⁻¹	[Jcm ⁻³]	a) 2,18+0,115	2,0·10 ⁻³	6,0·10 ⁻²
Verstärkungskoeffizient für gespeicherte Energie von 1J	[cm ⁻¹]	0,087	4,73	0,16

a) In Rubin muss mindestens die Hälfte aller Cr³⁺ invertiert werden, bevor überhaupt eine Verstärkung erhalten werden kann.

Tab. 15-4 Vergleich zwischen Rubin-, Nd:YAG- und Nd:Glaslaser [nach Koehner 1988]

Festkörperlaser: Übergangsmetalionen

Name oder Akronym	Chemische Formel	Mittl. Wellenl ^a [nm]	Abstimm- bereich [nm]	Betriebs- temp. (RT:Raumt.)	Pump- quelle	Different. Wirkungsgrad ^b [%]
Ti:Saphir Alexandrit Emerald	$Al_2O_3:Ti^{3+}$ $BeAl_2O_4:Cr^{3+}$ $Be_3Al_2(SiO_3)_6:Cr^{3+}$	750 752	660-986 710-820 720-842	RT 22-300°C	Ar ⁺ -Laser Blitzlampen Kr ⁺ -Laser	53 0,5-5 34
Cr:GSAG Cr:GSGG Cr:GSGG	$Gd_3Sc_2Al_3O_{12}:Cr^{3+}$ $Gd_3(Sc,Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$ $Gd_3(Sc,Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$	784 777	735-820 742-842 766-820	RT RT RT	Kr ⁺ -Laser Kr ⁺ -Laser Blitzlampen	18,5 28 0,05
Cr:KZnF ₃ Cr:SrAlF ₅ Cr:ZnWO ₄	$KZnF_3:Cr^{3+}$ $SrAlF_5:Cr^{3+}$ $ZnWO_4:Cr^{3+}$	825 925	785-865 825-1010 980-1090	RT RT 77 K	Kr ⁺ -Laser Kr ⁺ -Laser	14 3,6 13
V:MgF ₂ V:CsCaF ₃ Co:MgF ₂	$MgF_2:V^{2+}$ $CsCaF_3:V^{2+}$ $MgF_2:Co^{2+}$	1120 1282 1850	1070-1150 1240-1340 1510-2280	80 K 80 K 80 K	Kr ⁺ -Laser Kr ⁺ -Laser Nd:YAG(1,32μm)	0,06 40
Ni:MgF ₂ Co:KZnF ₃ Co:KZnF ₃	$MgF_2:Ni^{2+}$ $KZnF_3:Co^{2+}$ $KZnF_3:Co^{2+}$	1668 1970	1600-1740 1650-2070 1700-2260	77 K 80 K	Nd:YAG(1,32μm) cwNd:YAG(1,32μm) Ar ⁺ -Laser	28 8

^a Diese Wellenlänge entspricht maximaler Laserpulsenergie

^b Bei Blitzlampen-gepumpten Systemen ist der differentielle Wirkungsgrad gegeben durch das Verhältnis der Laserpulsenergie zur optischen Blitzlampenenergie oberhalb der Pumpschwelle. Bei den Laser-gepumpten Systemen ist es das Verhältnis der Laserpulsenergie zur vom Kristall absorbierten Energie des Pumplasers.

Tab. 15-6 Einige Daten abstimbarer Festkörperlaser [nach Walling 1987]

Festkörperlaser

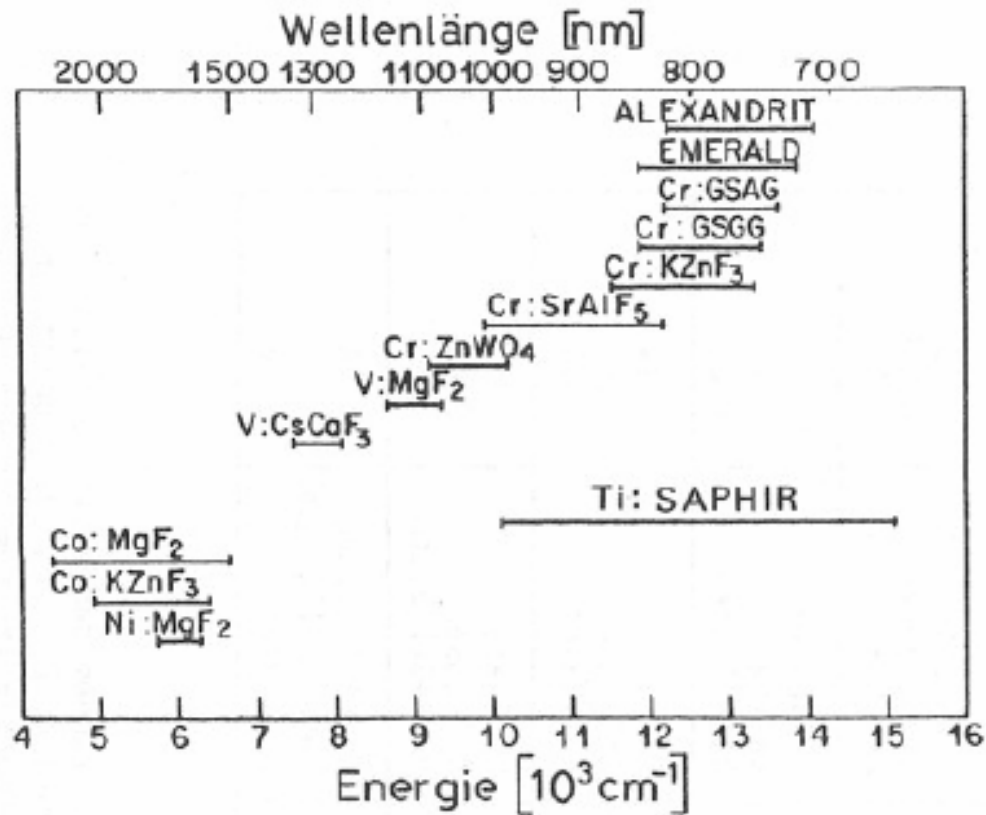
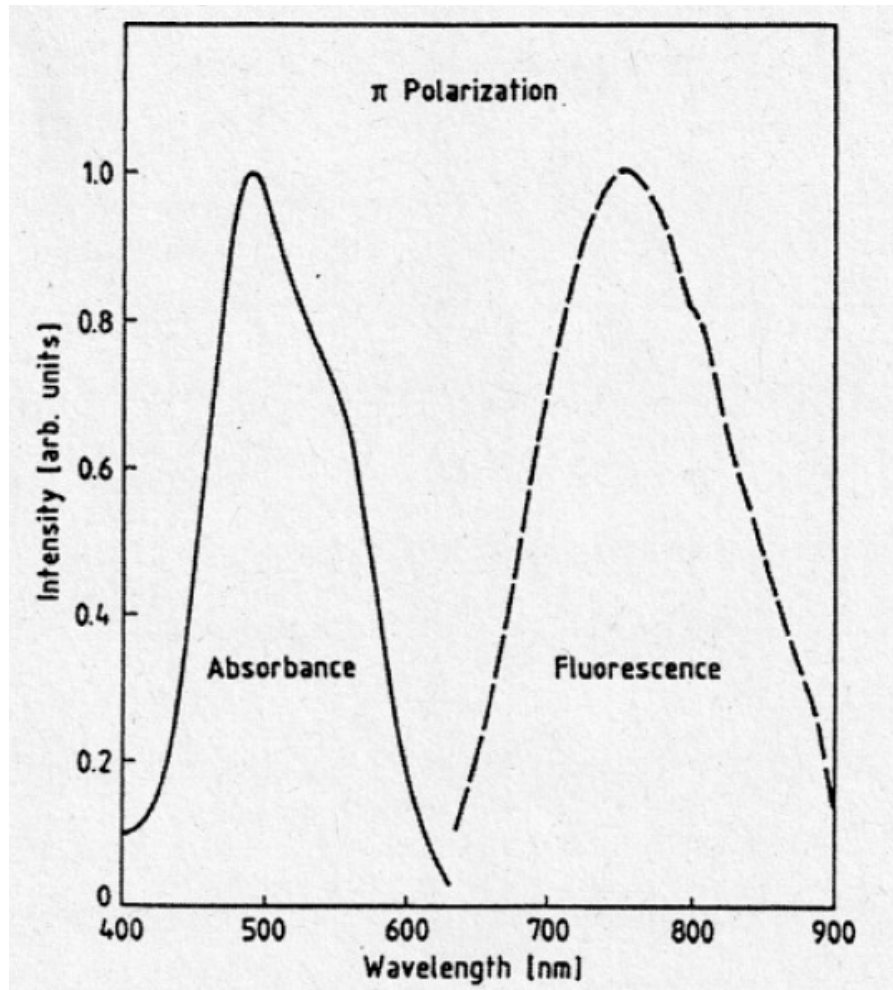


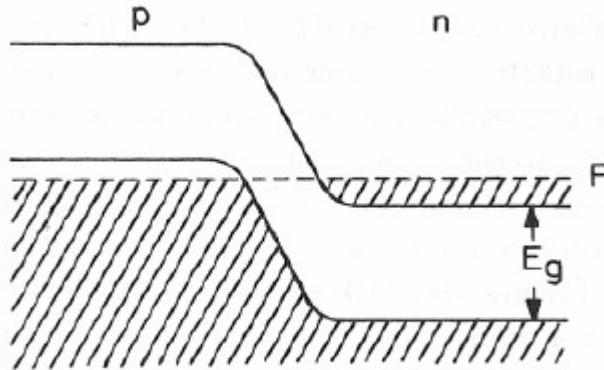
Fig. 15-15 Abstimmbereich von Uebergangsmetallionen-Lasern gemäss Tab. 15-6 [nach Walling 1987]

Titan Saphir Laser

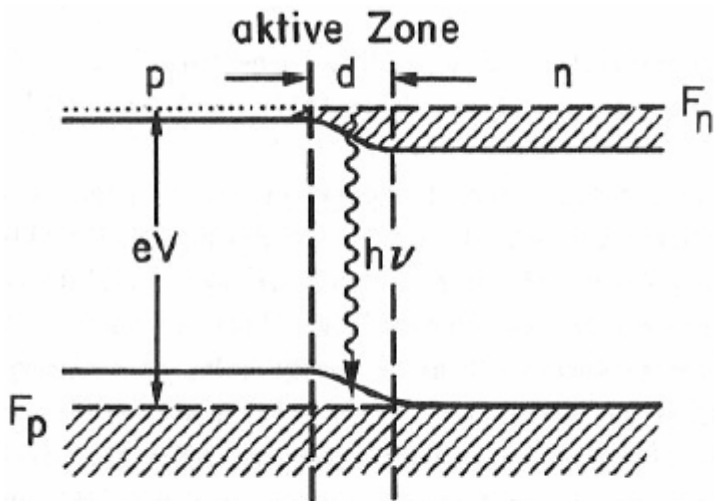


grosse Bandbreite
kurze Pulse, bis ~ 5 fs

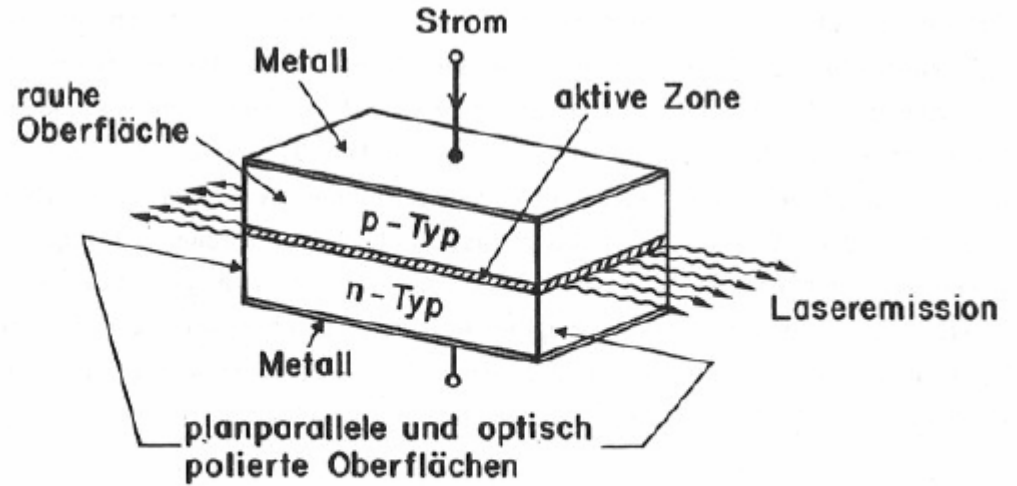
Halbleiterlaser



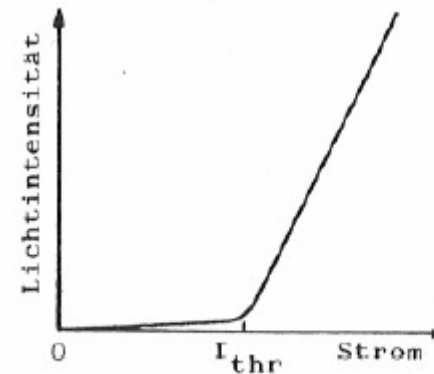
p-n-Uebergang ohne angelegte Spannung



p-n-Uebergang mit angelegter Spannung V in Durchlassrichtung. $V \approx E_g/e \approx 1,5 \text{ V}$ für GaAs



Schematischer Aufbau eines p-n-Diodenlasers. Die aktive Zone ist schraffiert dargestellt [nach Sze 1981]

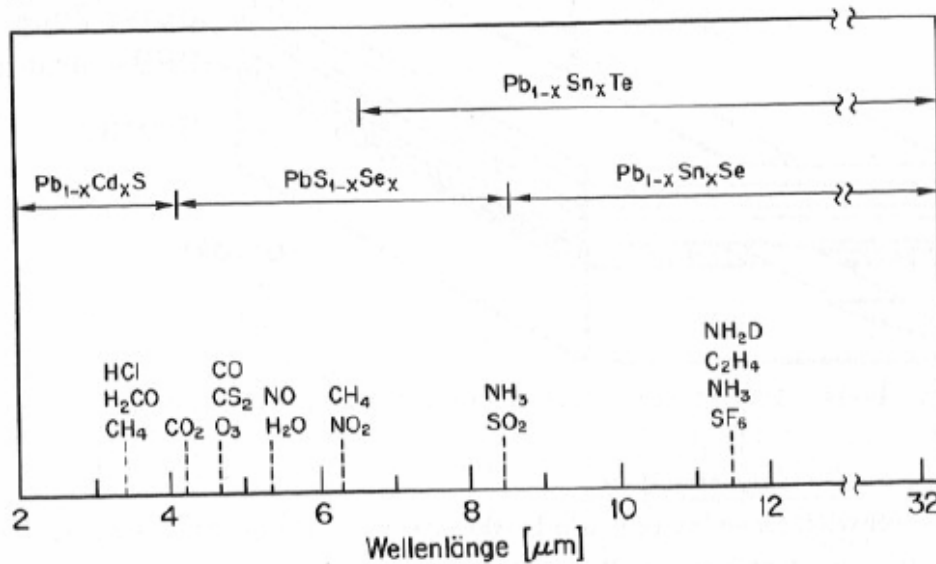


Abhängigkeit der Laserintensität vom Injektionsstrom

Halbleiterlaser

Lasertyp	Wellenlänge [μm]	Temperatur für cw Betrieb [K]	Leistung cw [mW]	Schwellstrom [mA]
$\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$	0,67-0,68	300	3	< 80
$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$	0,78-0,88	300	50	< 10
$\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$	1,2-1,6	300	< 100	< 10
$\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{S}$	2,8-4,2	< 100	0,25	~ 500
$\text{PbS}_{1-x}\text{Se}_x$	4,0-8,5	< 100	0,5	~ 500
$\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$	6,5-32	< 100	0,2	~ 500
$\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$	8,5-32	< 100	0,2	~ 500

Tab. 14-1 Einige typische Daten von Halbleiterlasern



Gaslaser

Die Anregung des aktiven Mediums in einem Gaslaser geschieht gewöhnlich durch eine elektrische Entladung. Es gibt allerdings auch Gaslaser bei denen die Anregung durch optisches Pumpen mit einem andern Laser, durch eine gasdynamische Expansion oder durch chemisches Pumpen erfolgt. In einer elektrischen Gasentladung werden freie Elektronen

i) Stösse 1. Art

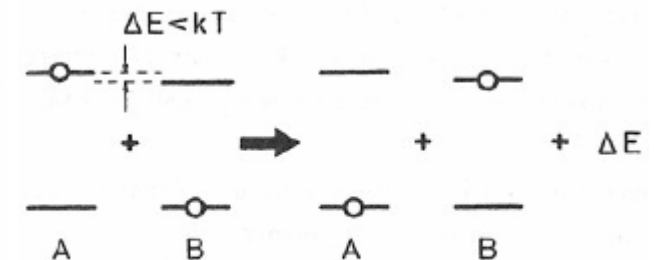
In diesem Fall erfolgt die Anregung direkt durch den Elektronenstoss gemäss



wobei X das Atom, Ion oder Molekül im Grundzustand und X* dasjenige im angeregten Zustand bedeuten. Diese Anregungsart tritt auf wenn das Gas nur aus einer Spezies X besteht (z.B. Ar⁺-Laser).

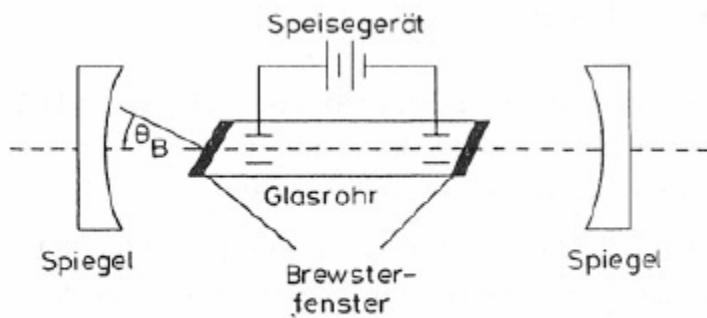
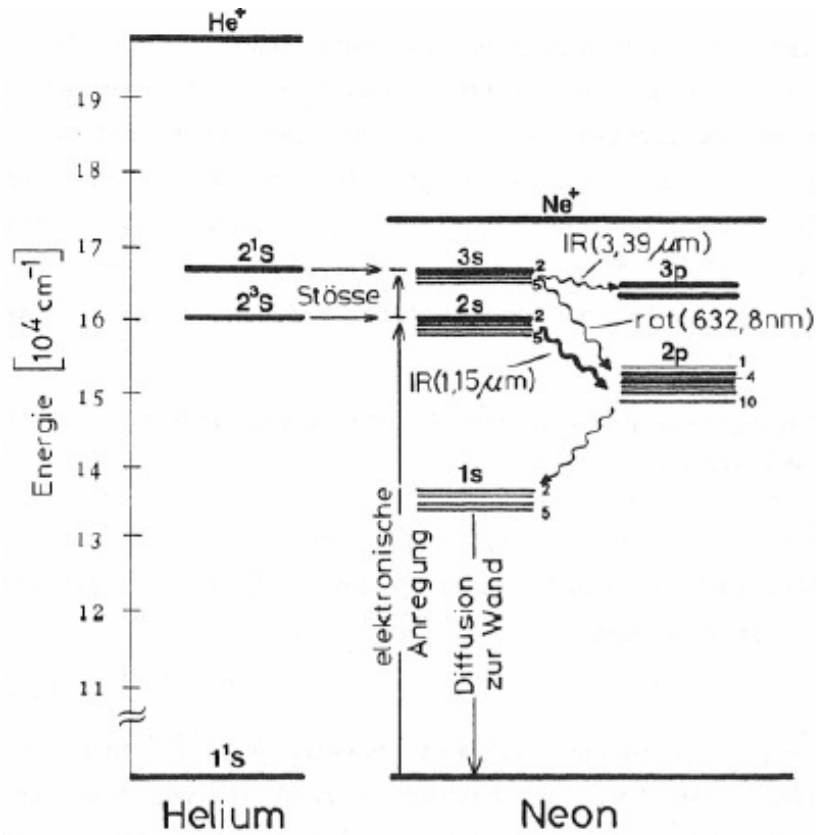
ii) Stösse 2. Art

Falls das Gas aus zwei (oder mehr) Spezies A und B besteht (z.B. He-Ne-Laser) kann die Anregung auch durch Kollision zwischen den Partnern A und B via resonante Energieübertragung erfolgen gemäss Figur 12-1.



12-1 Prinzip des Stosses 2. Art

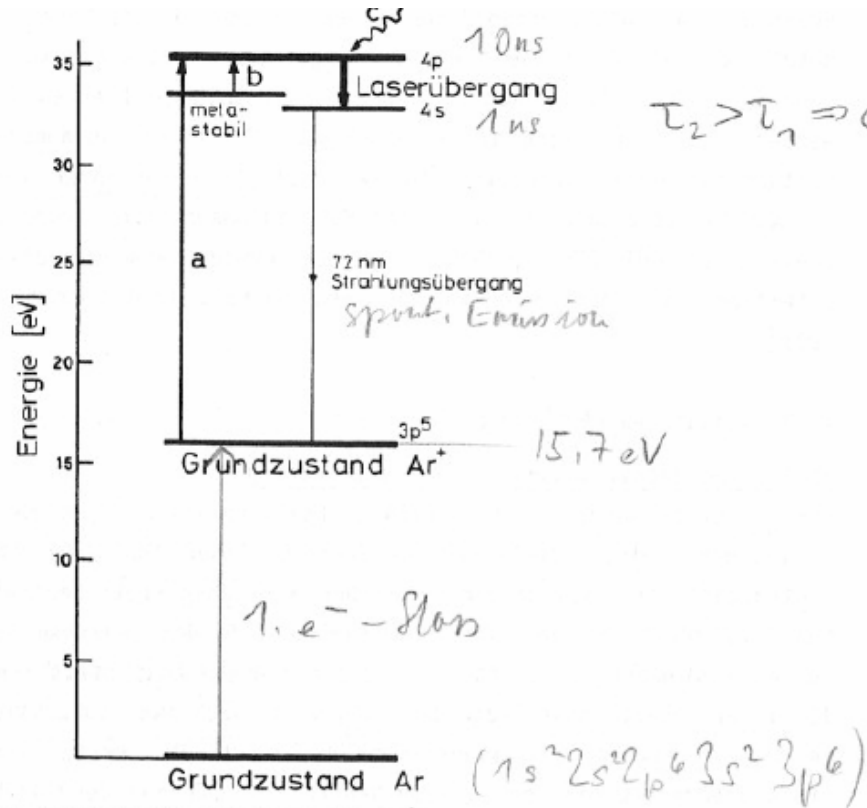
He-Ne laser



12-3 Typischer Aufbau eines He-Ne Lasers

Wellenlänge	Uebergang	$\Delta\nu$ [MHz]	γ [%/m]	Typ. Ausgangsleistung [mW]
543,3 nm (grün)	$3s_2 - 2p_{10}$	1750	0,5	1
594,1 nm (gelb)	$3s_2 - 2p_8$	1600	0,5	0,5
611,8 nm (orange)	$3s_2 - 2p_6$	1550	1,7	1
632,8 nm (rot)	$3s_2 - 2p_4$	1500	10	5 (bis 50)
1152,3 nm (IR)	$2s_2 - 2p_4$	825		1
1523,1 nm (IR)	$2s_2 - 2p_1$	625		1

Argon Ionen Laser



12-6 Energieniveauschema von Ar⁺

$\tau_2 > \tau_1 \Rightarrow cw \Delta j = \pm 1, 0$
 $\Delta L = \pm 1, 0$
 $\Delta S = 0$

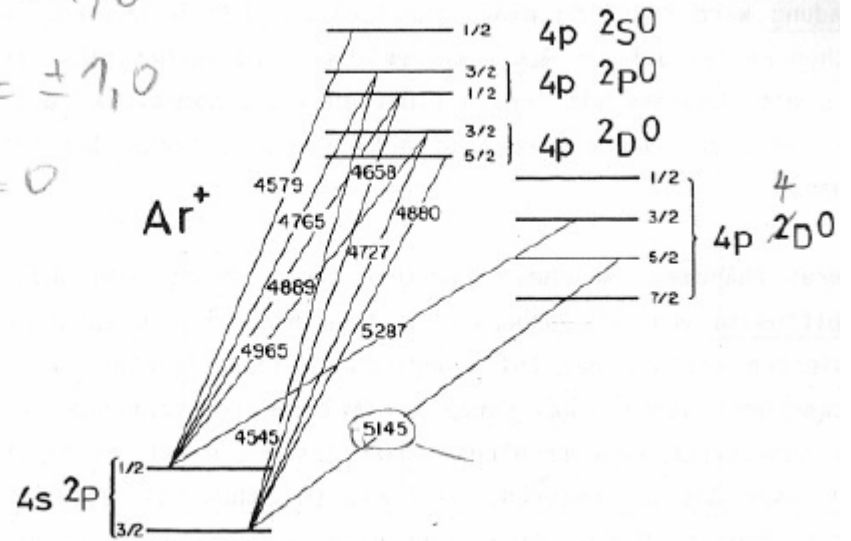


Fig. 12-7 Ar⁺-Laserübergänge mit Wellenlängen in Å [nach Bridges 1982]

Ionen Laser

Neon (Ne) [nm]	Argon (Ar) [nm] _w	Krypton (Kr) [nm]	Xenon (Xe) [nm]
332,4	351,1* ^o	350,7*	460,3
334,5	363,8* } 3	356,4*	541,9
337,8	418,3* }	406,7*	597,1
339,3	454,5	413,1*	627,1
371,3	457,9	415,4*	714,9
	465,8	468,0	782,8
	472,7	476,2	798,8
	476,5	482,5	871,6
	488,0 } 10	520,8	905,9
	496,5	530,9	969,9
	501,7	568,2	
	514,5 } 10	647,1	
	528,7	676,4	
	1092,3	752,5	
		793,1	
		799,3	

b. 12-4 Wichtige Emissionswellenlängen von Edelgasionenlasern

* bedeutet 2-fach ionisiert

Excimerlaser

Excimer = excited dimer

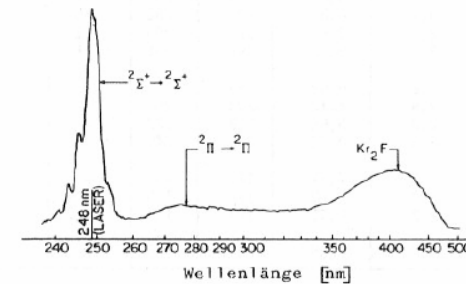
Excimer = Molekül das nur im elektronisch angeregten Zustand existiert



ionisch
kovalent

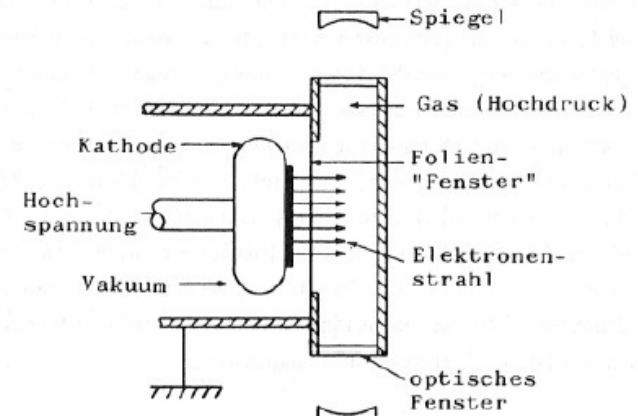
wobei R und X das Edelgas bzw. das Halogenatom bedeuten

M ein Stosspartner



10 Fluoreszenzspektrum von KrF*. Die Messung wurde durchgeführt mit Ar + 4 % Kr + 0,2 % F bei 350 kPa [nach Brau 1984]

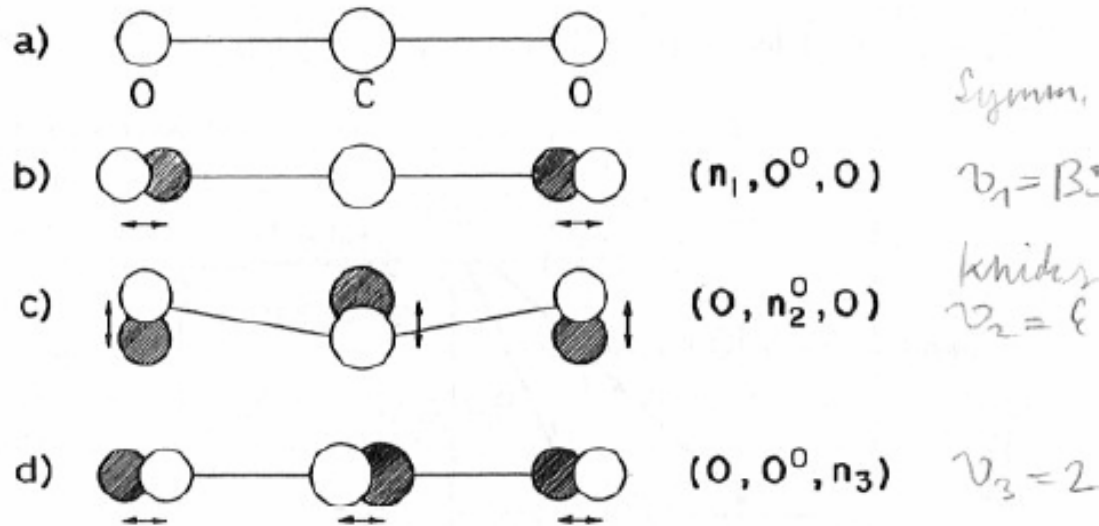
Parameter ▶	r(theor.) [Å]	E(theor.) [eV]	$\lambda(2\Sigma^+ \rightarrow 2\Sigma)$ [nm]		$\tau(2\Sigma^+ \rightarrow 2\Sigma)$ [ns]	$\sigma(2\Sigma^+ \rightarrow 2\Sigma)$ [10 ⁻¹⁶ cm ²]
			theor.	exp.		
XeI*	3,3	4,85	256	253	12	1,4
XeBr*	3,1	4,25	292	282	~ 15	~ 1,7
XeCl*	2,9	3,83	324	308	11	4,5
XeF*	2,4	3,12	397	351	~ 16	~ 4
KrI*	3,2	6,69	185	---	---	---
KrBr*	2,9	6,12	203	206	---	---
KrCl*	2,8	5,65	219	222	---	---
KrF*	2,3	4,86	256	249	~ 7	~ 2,4
ArBr*	2,8	7,71	161	---	---	---
ArCl*	2,7	7,20	172	175	---	---
ArF*	2,2	6,41	193	193	4,2	2,9
NeF*	1,9	11,56	107	108	2,6	---



12-11 Schema eines Elektronenstrahl-gepumpten Excimerlasers [nach Brau 1984]

12.6 Kohlendioxid (CO₂)-Laser

Der CO₂-Laser [Duley 1976, Witteman 1987] gehört zu den Vibrations-Rotationslasern und gilt als wichtigster Vertreter der Molekülgaslaser überhaupt. Er wurde 1964 durch Patel erstmals realisiert [Patel 1964].



12-15 CO₂-Molekül: a) Molekül in Ruhe, b)-d) Normalschwingungen

