

Übersicht zur Vorlesung Optoelektronik

- I. Einleitung
- II. Optik in Halbleiterbauelementen
- III. Herstellungstechnologien
 - III.0 Lumineszenz
 - III.1 Epitaxie
 - III.2 Halbleiterquantenstrukturen
 - III.3 Prozessierung

3. Foliensatz
SS 2016
11.05.2016

Photolumineszenz

Emission nach optischer Anregung:

1. optische Anregung



Erzeugung eines Elektron-Loch-Paares



2. Elektron (Loch) relaxiert zum Bandminimum (-maximum)



3. Elektron fällt zurück ins Valenzband (rekombiniert mit Loch)



Erzeugung von Licht

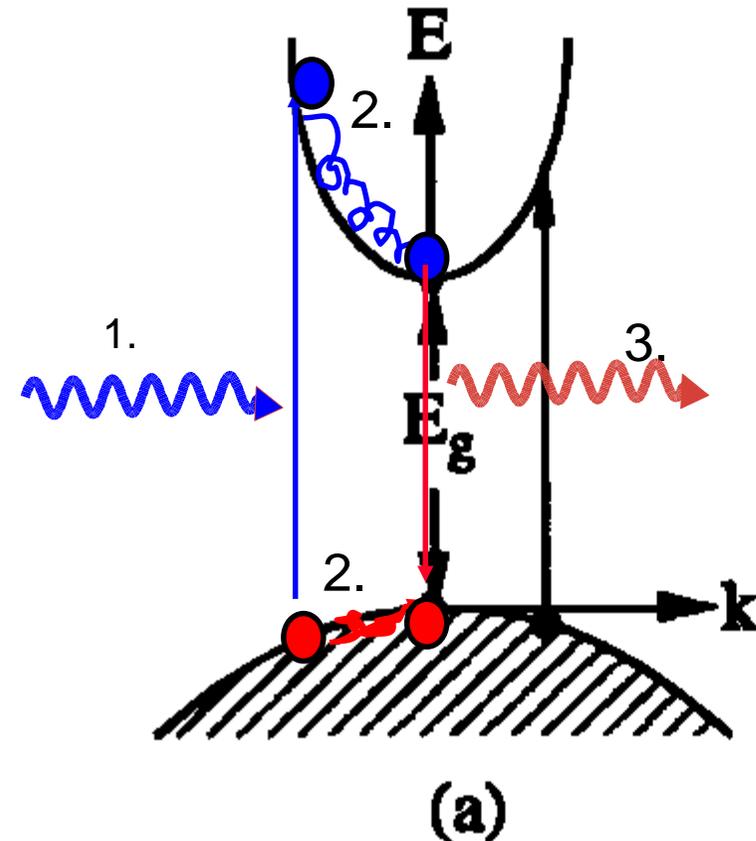


Abb. Schema zur Photolumineszenz in einem direkten Halbleiter

Halbleiterlumineszenz

- Absorptionskante wird bestimmt durch die Energielücke

- Emittierte Photonen haben ungefähr die Energie der Bandlücke

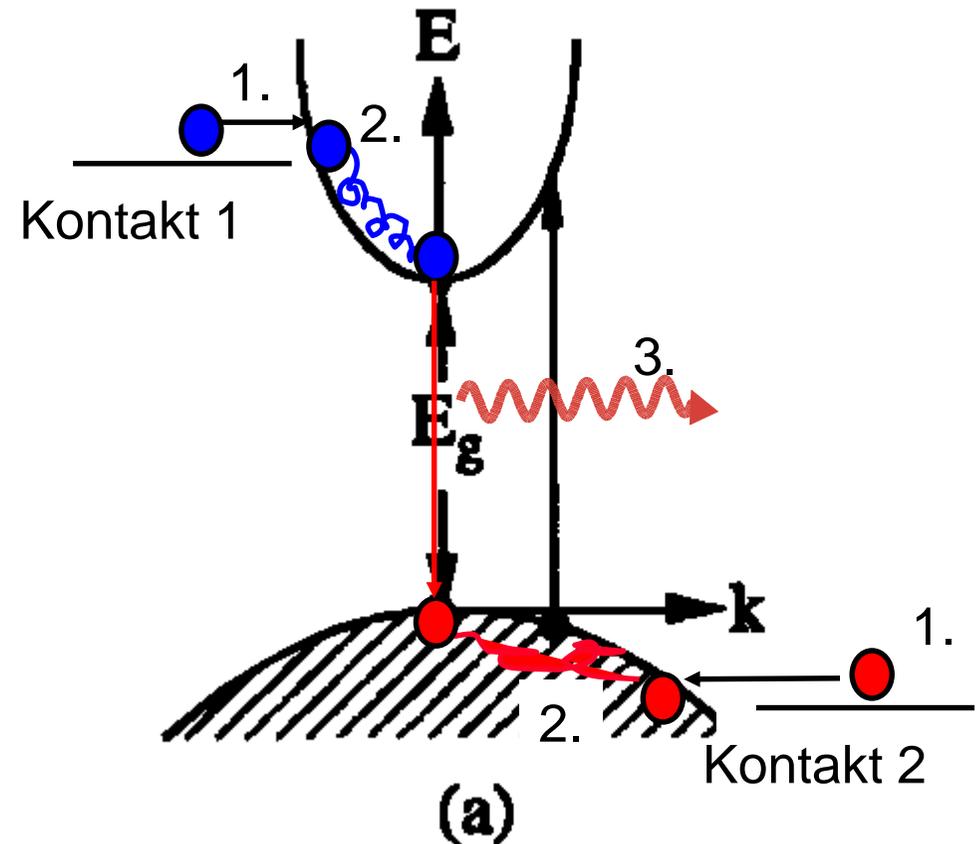


Abb. : Schema zur Elektrolumineszenz in einem direkten Halbleiter

Halbleiterlumineszenz

Stärke und Dynamik der Emission werden bestimmt durch die Übergangsrates und die Besetzungsfunktionen für Elektronen und Löcher

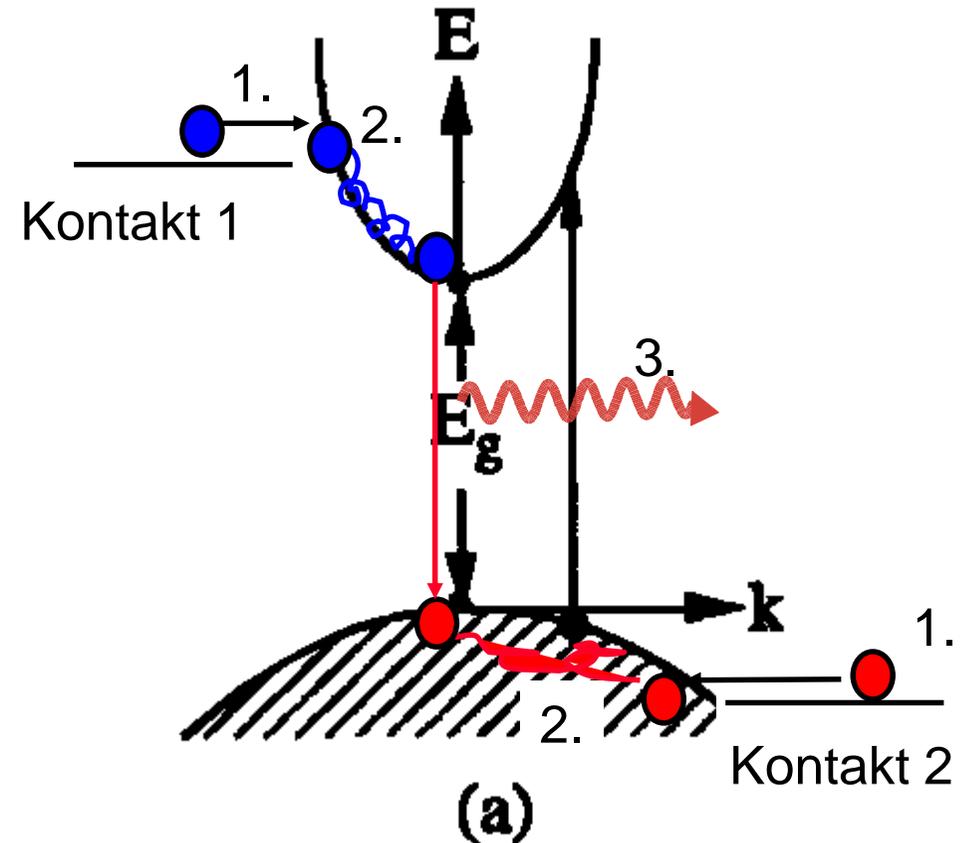


Abb. : Schema zur Elektrolumineszenz in einem direkten Halbleiter

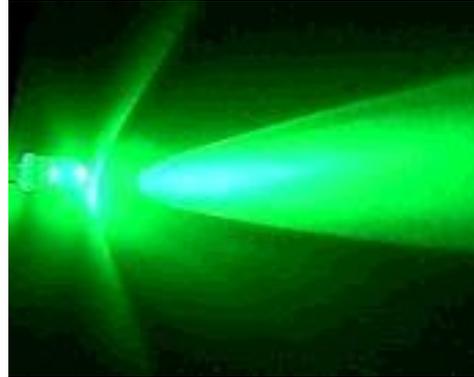
Absorption und Emission in Halbleitern

Material	GaP	GaAs	InP	InAs	InSb
E_g (eV) (at 300K)	2.78	1.424	1.34	0.36	0.18
dE_g/dT (meV/K)	-0.5	-0.39	-0.29	-0.35	-0.275
λ_g (300K)	446 nm	871 nm	925 nm	3.44 μm	6.89 μm
$d\lambda_g/dT$ (nm/K)	0.08	0.24	0.20	3.34	10.5

Table 1.2. Room temperature bandgap energies and wavelengths of various III-V semiconductors, and their temperature dependence. (Note direct gap energies are quoted, though GaP has a lower, indirect gap.)

Anforderungen an ein LED/Laserdioden-Material

- richtige „Farbe“



- direkte Bandlücke, hohe Übergangsrate

- wenig Defekte → wenig nichtstrahlende Übergänge

- möglichst kostengünstig herzustellen

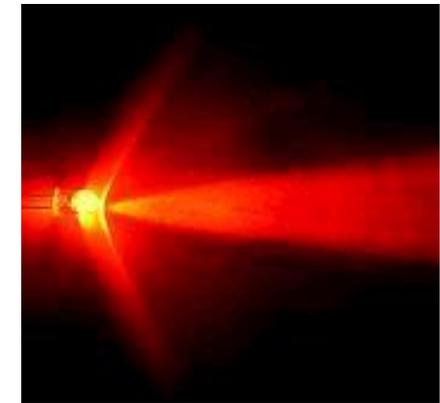
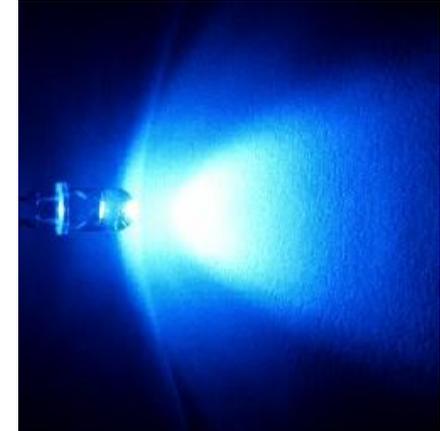


Abb. : Verschiedenfarbige LEDs

Rekombinationsprozesse in LEDs

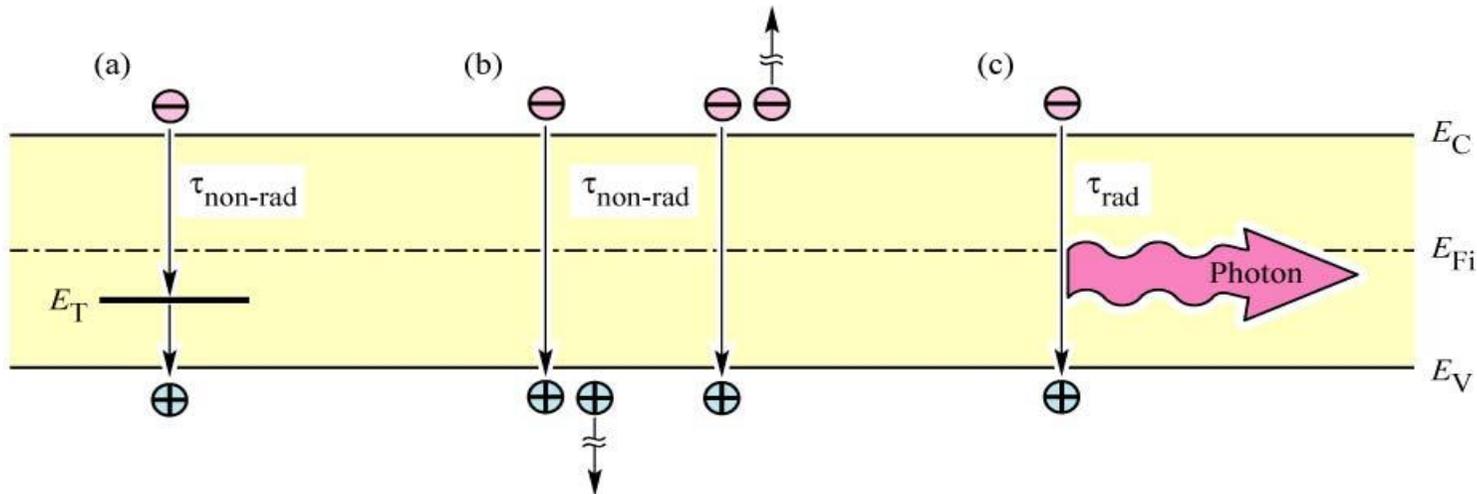


Fig. 2.6. Band diagram illustrating non-radiative recombination: (a) via a deep level, (b) via an Auger process and (c) radiative recombination.

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

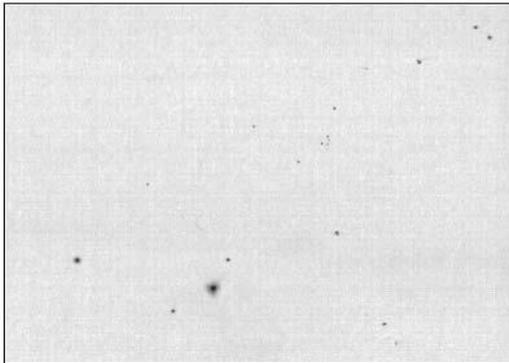


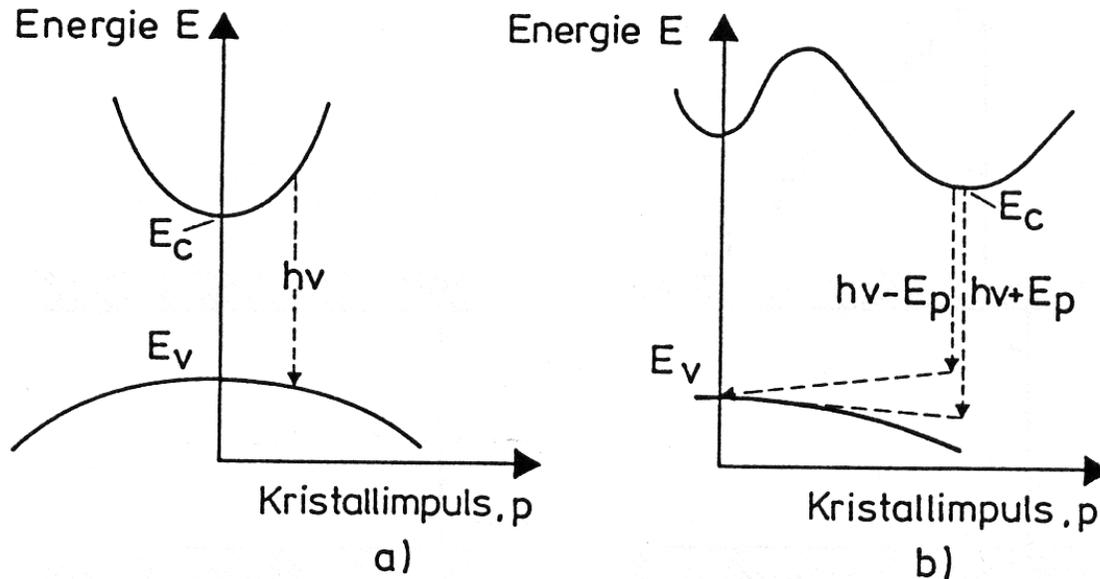
Fig. 2.7. Cathodoluminescence micrograph of a GaAs epitaxial layer. The dark spots are due to large clusters of non-radiative recombination centers (after Schubert, 1995).

GaAs
 $T = 295 \text{ K}$
 $10 \mu\text{m}$

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

Zur Vermeidung von nichtstrahlenden Rekombinationsprozessen müssen sehr **defektfreie** (= kristalline) Schichten hergestellt werden.

Rekombination: Strahlend



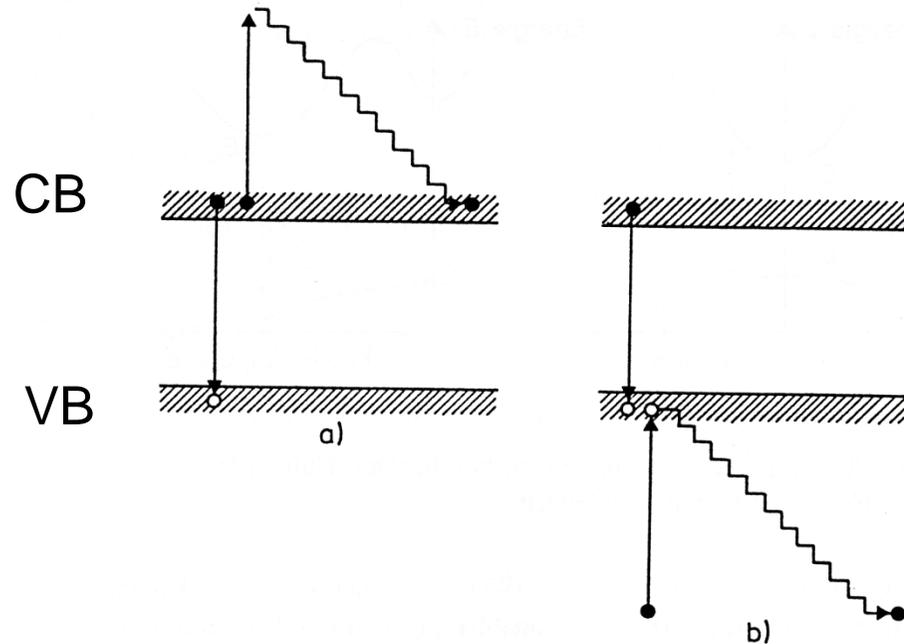
Strahlende Rekombination: Elektron geht unter Lichtaussendung vom LB auf unbesetzten Platz (Loch) im VB

$$\text{Mikroskopisch: } R_{rad} = \int_{E_G}^{\infty} b_{CV}(\hbar\omega) f_e(E_e) f_h(E_h) d\hbar\omega; \quad \text{Makroskopisch (Hydrodynamisch): } R_{rad} = A p n$$

b_{CV} : Quantenmechanik + Zustandsdichte; $f_{e,h}(E_{e,h})$: Besetzungsfunktionen bei der Energie, die durch den optischen Übergang gekoppelt sind.

p : Lochdichte, n : Elektronendichte, A : Rekombinationskoeffizient

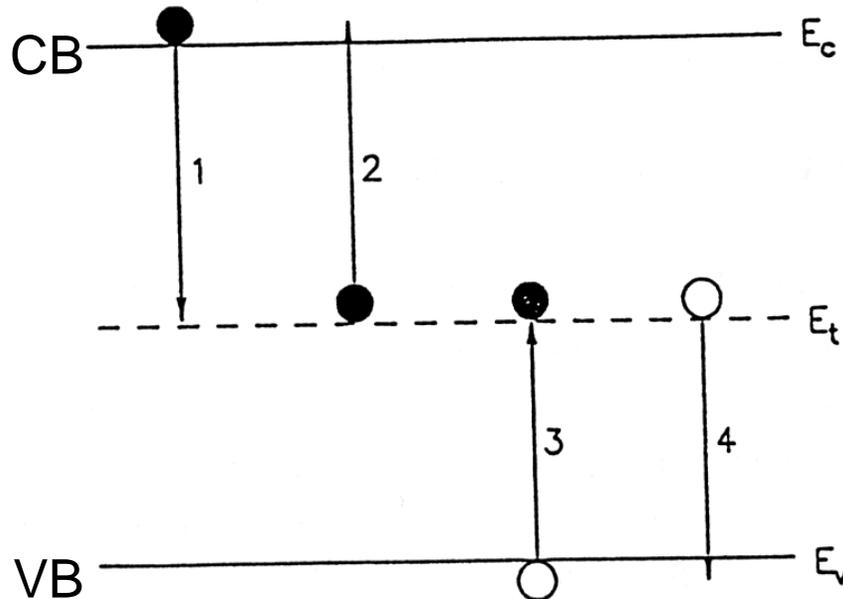
Rekombination: Auger



Augerrekombination: Elektron und Loch rekombinieren und Energie wird von drittem Teilchen aufgenommen

$$\text{z.B.: } R_{eeh}^{\text{Auger}} = Bn^2p$$

Störstellenrekombination (nichtstrahlend)



Störstellenrekombination:
Elektron und Loch werden
in dieselbe Störstelle
eingefangen

- Shockley-Read-Hall-Rekombination (hängt ab von Dotierungskonzentration)

z.B. Einfangprozeß 1:

$$R_e^{\text{Stör}} = nN_t\sigma v_{th}$$

N_t : Dichte Trapniveaus

σ : Einfangquerschnitt

v_{th} : therm. Geschw.

Störstellenrekombination (strahlend)

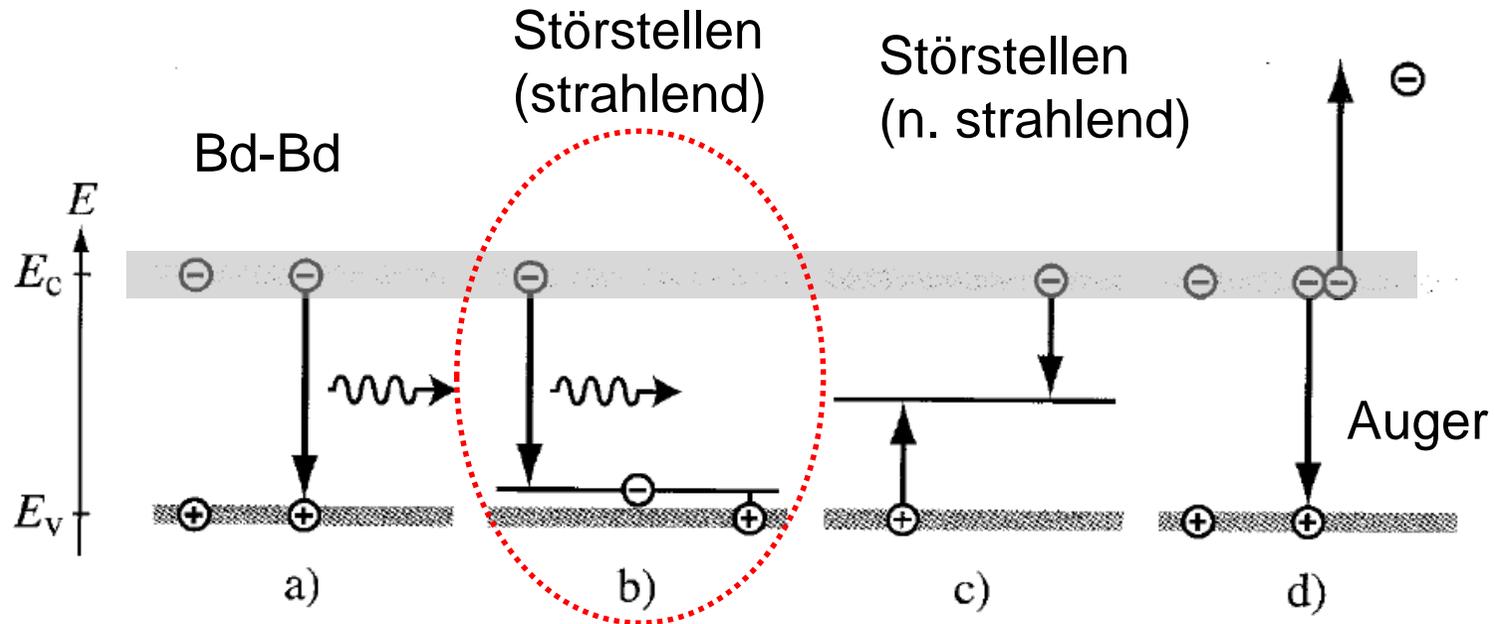


Abbildung 14.2: Rekombinationsmechanismen: a) Band-Band-Übergang, b) Akzeptorverunreinigung, c) zweistufiger Prozeß über eine isoelektronische Störstelle (*traps*), d) Auger-Prozeß. Die Prozesse sind jeweils sequentiell von links nach rechts dargestellt. Die Energiebänder sind hier nur als Linien dargestellt. Elektronen sind durch ein ($-$), Löcher durch ein ($+$) gekennzeichnet. Eine Schlangelinie repräsentiert ein Photon.

Band-Band und Störstellenrekombinations-LEDs (Stand 1992)

Table: Characteristics of Visible LEDs

LED TYPE	COLOR (Peak Wavelength)	PRODUCTION METHOD	STRUCTURE*	BANDGAP TYPE	LATTICE MATCHED	TYPICAL EXTERNAL QUANTUM Eff. %	TYPICAL PERFORMANCE (lumens/watt)
GaAsP	Red(650)	VPE + Diffusion	HJ	Direct	No	0.2	0.15
GaP:Zn O	Red (700)	LPE	HJ	Indirect	Yes	2	0.4
GaAsP:N	Red (630)	VPE + Diffusion	HJ	Indirect	No	0.7	1
GaAsP:N	Yellow (585)	VPE + Diffusion	HJ	Indirect	No	0.2	1
GaP:N	Yellow-Green (565)	LPE	HJ	Indirect	Yes	0.4	2.5
GaP	Pure Green (555)	LPE	HJ	Indirect	Yes	0.1	0.6
AlGaAs	Red (650)	LPE	SH	Direct	Yes	4	2
	Red (650)	LPE	DH	Direct	Yes	8	4
	Red (650)	LPE	DH-TS	Direct	Yes	16	8
AlInGaP	Orange (620)	MOCVD	DH	Direct	Yes	6**	20**
	Yellow (585)	MOCVD	DH	Direct	Yes	5**	20**
	Green (570)	MOCVD	DH	Direct	Yes	1**	6**
SiC	Blue (480)	MOCVD	HJ	Indirect	Yes	0.02	0.04

* HJ Homojunction

SH Single Heterostructure

DH Double Heterostructure

DH-TS Double Heterostructure, transparent epitaxially-grown substrate .

** Best reported results [9]. Typical commercial performance not established.

(Bedeutung der strahlenden
Störstellenrekombination hat
durch Wachstum von neuen
Materialien abgenommen)

Rekombinationsprozesse in LEDs

Hydrodynamische Beschreibung der Rekombination im Halbleiter
(Halbleitergrundgleichungen):

$$\frac{\partial n(\vec{r}, t)}{\partial t} = -(R_{rad} + R_{nonrad})$$

$$R_{rad}(n)p = An(\vec{r}, t)p(\vec{r}, t); \quad R_{nonrad} = R_{Auger} + R_{Stör} + \dots$$

n : Elektronendichte, A : Rekombinationskoeffizient

R_{rad} : strahlende Rekombinationsrate, R_{nonrad} : nichtstrahlende Rekombinationsrate

$$R_{ges} = R_{rad} + R_{nonrad}$$

$$\tau_{rad} = \frac{n(\vec{r}, t)}{R_{rad}}; \quad \tau_{nonrad} = \frac{n(\vec{r}, t)}{R_{nonrad}}$$

Interne Quanteneffizienz: $\eta_{int} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{nonrad}}$ (ist dichteabhängig und nicht konstant!)

Halbleiterheterostrukturen

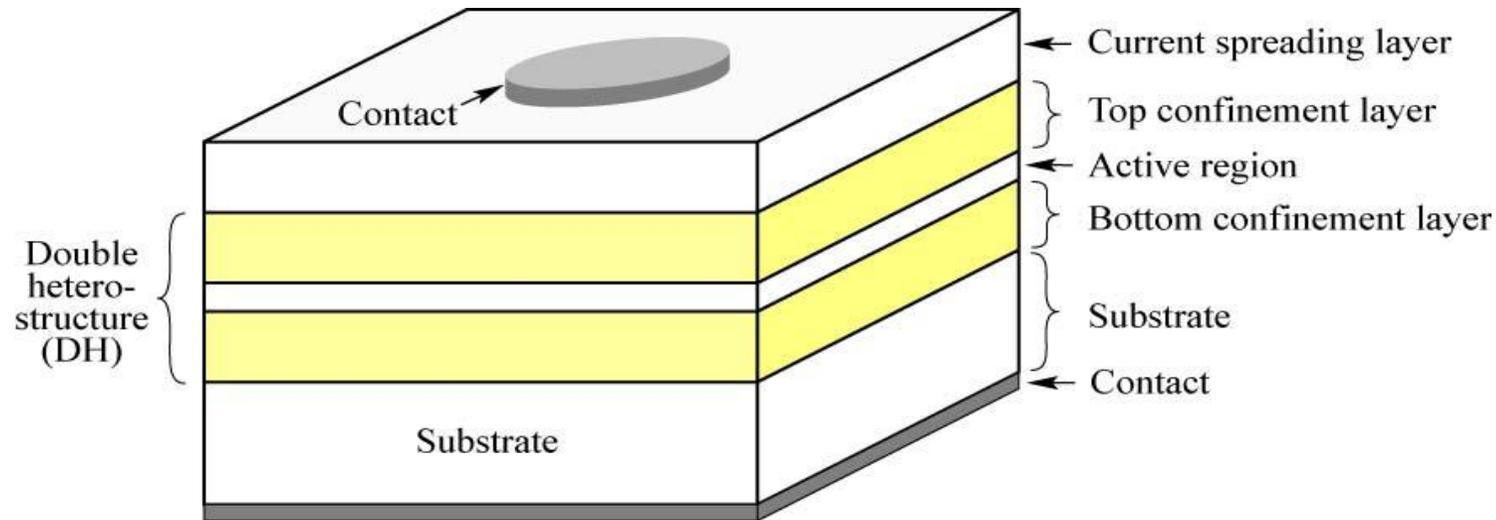


Fig. 7.1. Illustration of a double heterostructure consisting of a bulk or quantum well active region and two confinement layers. The *confinement* layers are frequently called *cladding* layers.

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

Moderne LEDs haben einen relativ komplexen Aufbau aus einer Abfolge von maßgeschneiderten Halbleiterschichten

Halbleiterheterostrukturen

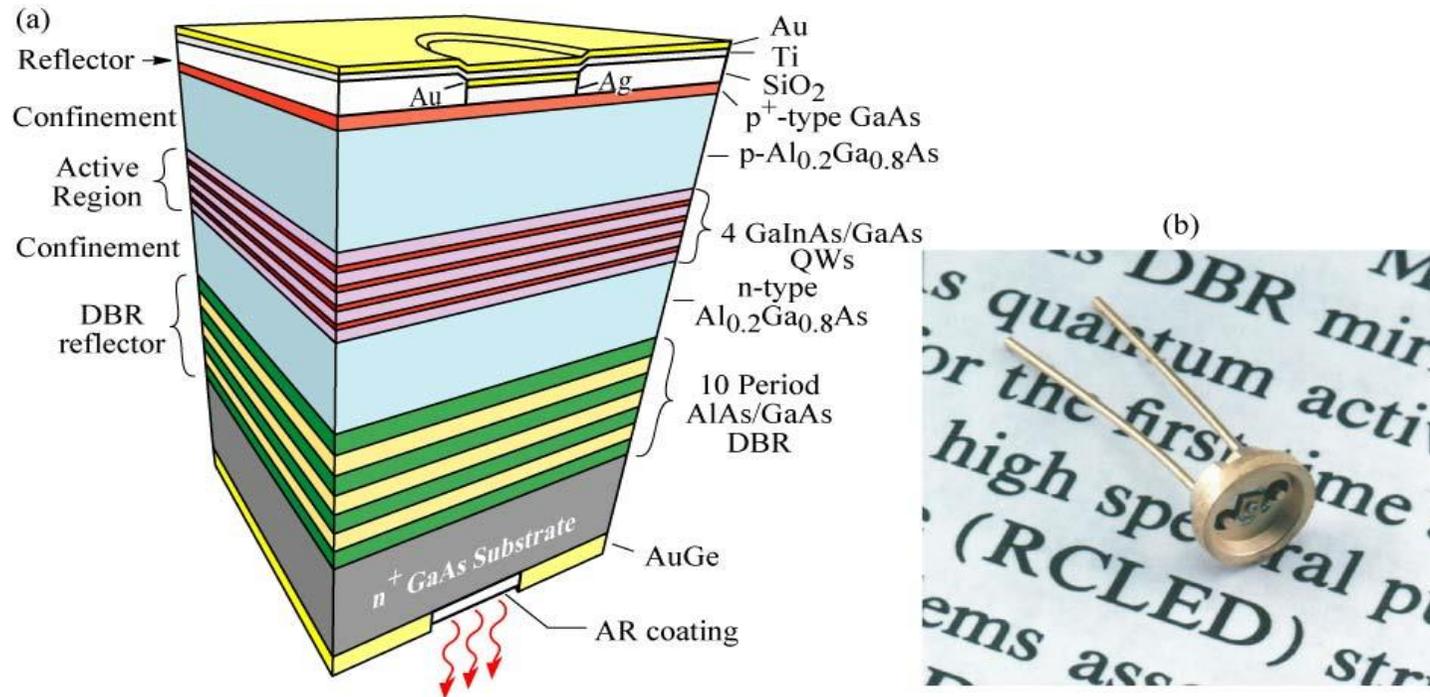


Fig. 15.4. (a) Schematic structure of a substrate-emitting GaInAs/GaAs RCLED consisting of a metal top reflector and a bottom distributed Bragg reflector (DBR). The RCLED emits at 930 nm. The reflectors are an AlAs/GaAs DBR and a Ag top reflector. (b) Picture of the first RCLED (after Schubert *et al.*, 1994).

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

> 20 Halbleiterschichten mit Schichtdicken im Bereich 1-100 nm

Doppelheterostrukturen für eine effizientere Rekombination

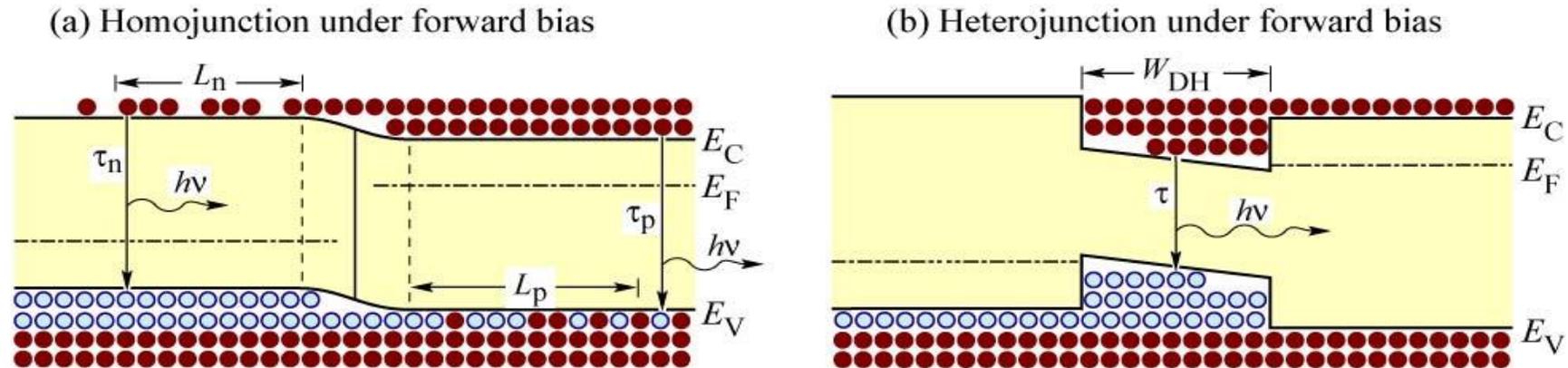


Fig. 7.2. Free carrier distribution in (a) a homojunction and (b) a heterojunction under forward bias conditions. In homojunctions, carriers are distributed over the diffusion length. In heterojunctions, carriers are confined to the well region.

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

→ erhöhte Ladungsträgerdichte und damit erhöhte strahlende Rekombination im Bereich des Materials mit der niedrigeren Bandlücke

Carrier escape, capture and overflow in LEDs

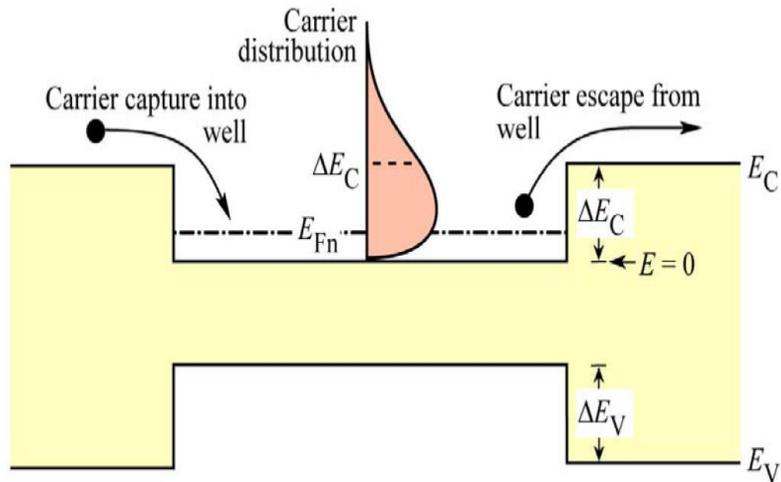
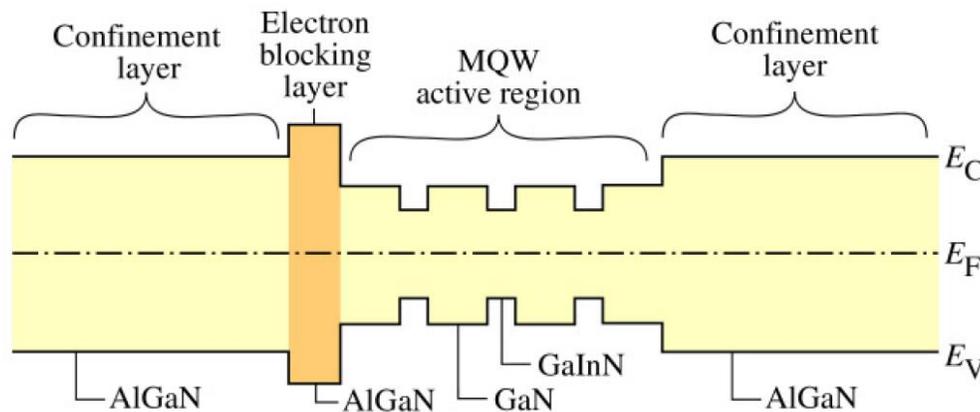


Fig. 4.9. Carrier capture and escape in a double heterostructure. Also shown is the carrier distribution in the active layer.

Ladungsträger müssen eingeschlossen werden, um die Rekombinationswahrscheinlichkeit zu erhöhen

Abb.: Energiebanddiagramme von effizienten LEDs
(Quelle: E.F. Schubert)



(MQW: Multi-Quantum Well)

Weitere Verbesserung durch Einbettung von Multiquantum-Wells (mehreren endlichen Potentialtöpfen) in den Bereich mit der geringeren Bandlücke

Zur Vermeidung von nichtstrahlenden Rekombinationsprozessen müssen sehr **defektfreie** und **dünne Kristallschichten** hergestellt werden.

Halbleiterheterostrukturen

Für die Wirkungsweise des Bauelementes ist die Abfolge der Energieniveaus entscheidend.

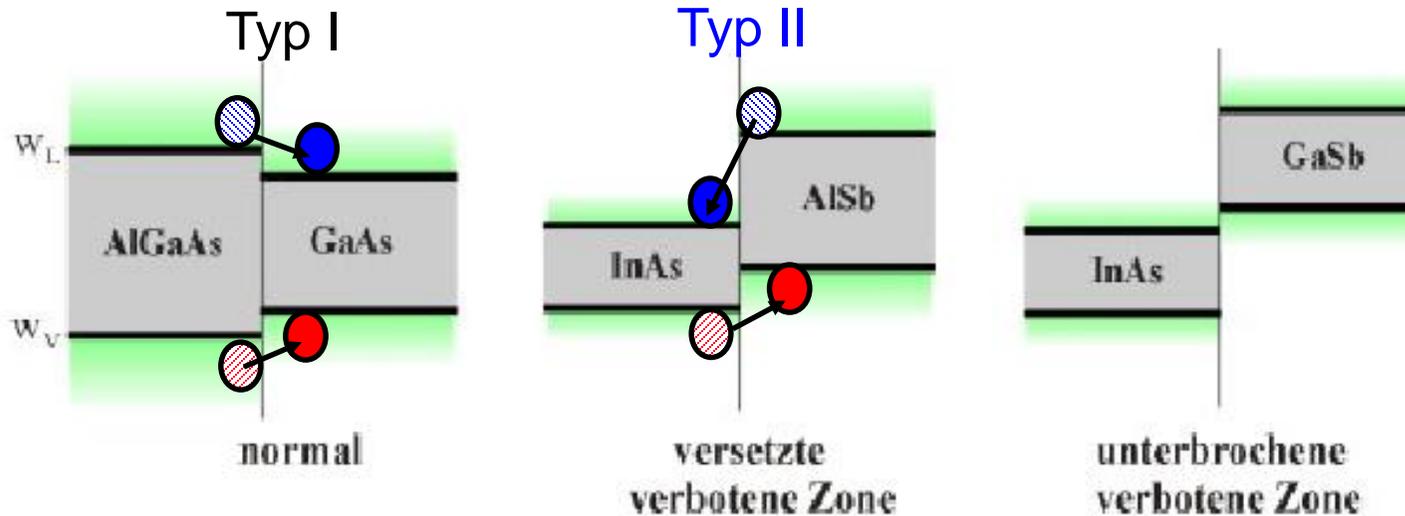


Abb.: Verschiedenene Möglichkeiten des Bandkantenversatzes in Halbleiterheterostrukturen

Typ I: hohe Rekombinationswahrscheinlichkeit, gut für LEDs

Typ II: Dissoziation von e-h-Paaren, gut z.B. für Photodiode

Übersicht zur Vorlesung Optoelektronik

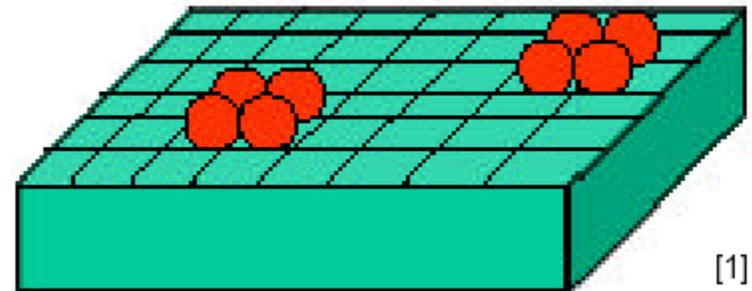
- I. Einleitung
- II. Optik in Halbleiterbauelementen
- III. Herstellungstechnologien
 - III.0 Lumineszenz
 - III.1 Epitaxie
 - III.1.1 Flüssigphasenepitaxie (LPE)
 - III.1.2 Molekularstrahlepitaxie (MBE)
 - III.1.3 Metallorganische Gasphasen Epitaxie (MOVPE)
 - III.2 Halbleiterquantenstrukturen
 - III.3 Prozessierung

Epitaxie von Halbleiterkristallschichten

Wachstum erfolgt in dünnen Schichten als hochkristalline Struktur auf Substraten (Wafern) → epitaktisches Wachstum

Epitaxie: „darauf anordnen“ (griech.)

- geringe Defektdichte
- Heterostrukturen möglich
- laterale Strukturierung möglich



[1]

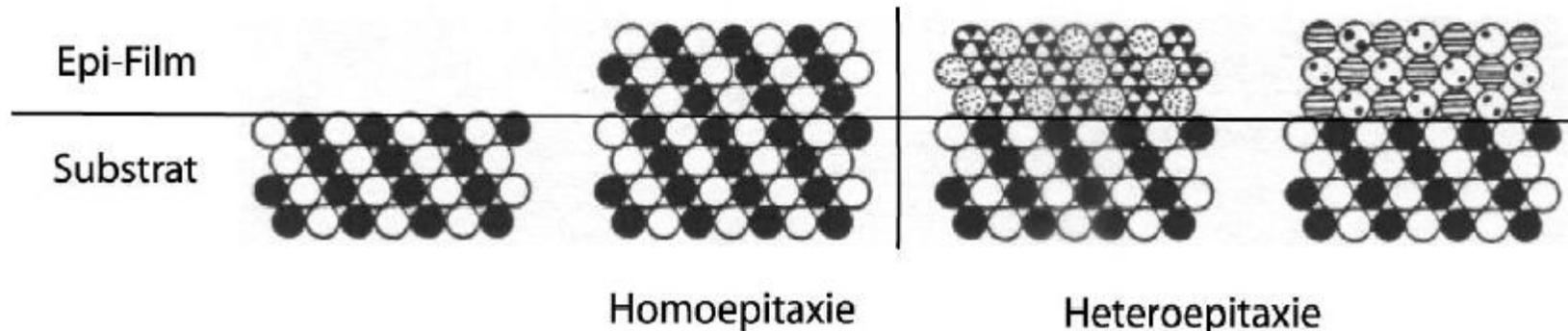
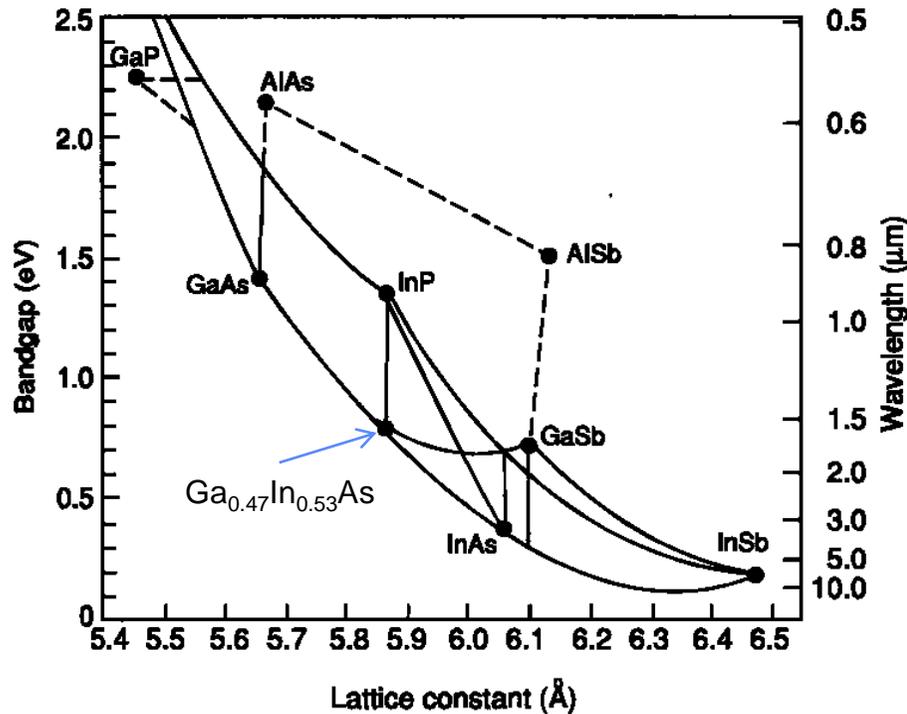


Abb.:
Schemen zur
Epitaxie

III-V-Legierungshalbleiter

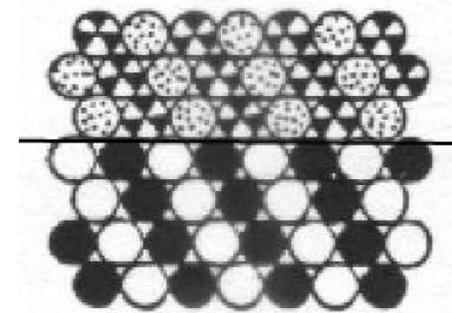
Abb.: Bandlücken von verschiedenen III-V-Halbleitern



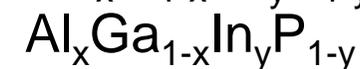
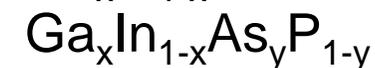
Durch die Variation der Materialkomposition kann die Bandlücke des Halbleiters eingestellt werden.

Kristallwachstum funktioniert (bis auf Ausnahmen) nur für dieselbe Gitterkonstante

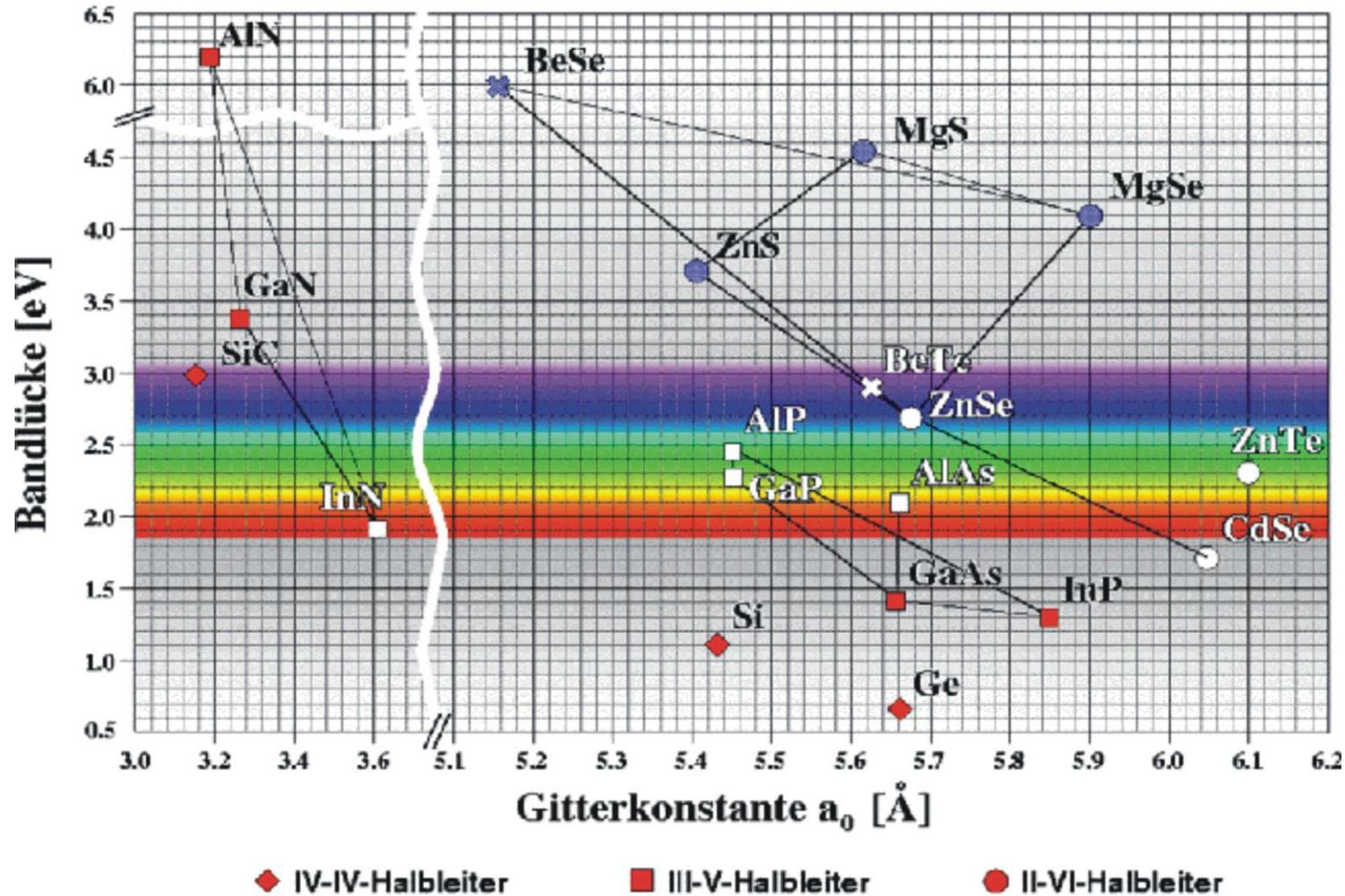
Abb.: Schema zur Heteroepitaxie



Wichtige Materialsysteme:



Bandlücke als Funktion der Gitterkonstante



III-V, II-VI und Elementhalbleiter für die Mikro- und Optoelektronik

Abb. : Energiebandlücken in verschiedenen Halbleitern in Abhängigkeit von der Gitterkonstante

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ als der Prototyp-III-V-Legierungshalbleiter

Geeignete Halbleiterlegierungen erlaubt das „Durchstimmen“ der Bandlücke bei gleichbleibender Gitterkonstante.

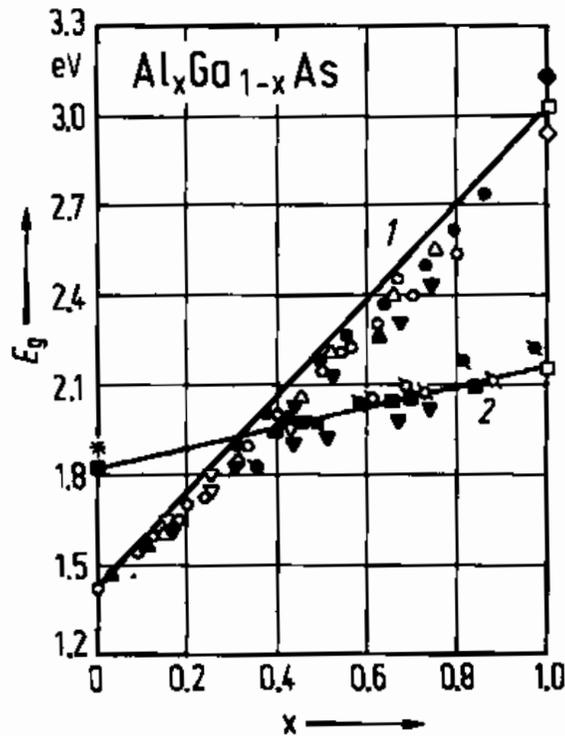
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

$$E_g = 1.424 + 1.27x \text{ at } 300 \text{ K (direct gap regime } (x < 0.4))$$

$$m_e / m_o = 0.067 + 0.083x$$

$$m_{hh} / m_o = 0.50 + 0.29x \text{ ("density of states" mass)}$$

$$m_{lh} / m_o = 0.087 + 0.063x$$

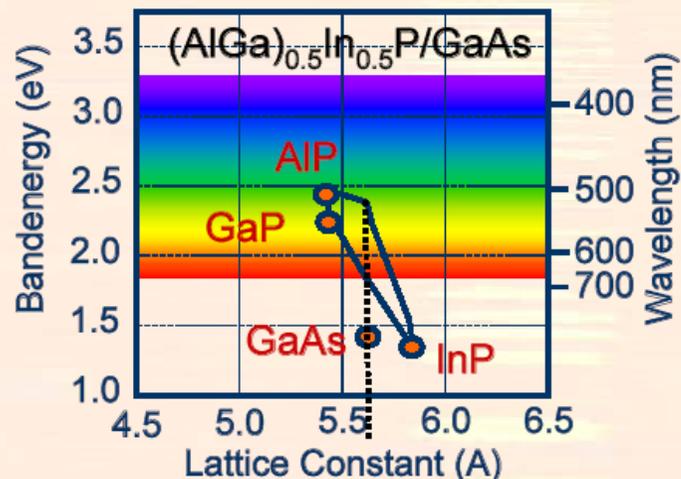


Im Bereich $x > 0.4$ (Bereich 2) wird das Material zu einem indirekten Halbleiter.

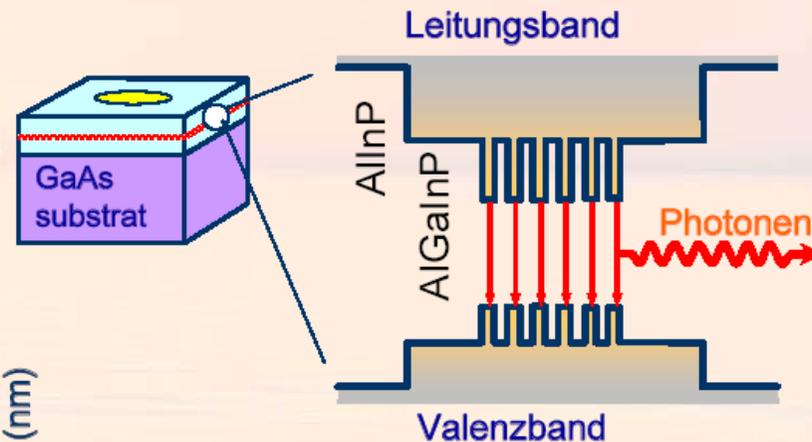
Abb.: Bandlücken von $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ für verschiedene Legierungen

Das quaternäre Materialsystem AlGaInP eignet sich hervorragend zur Herstellung von High-Brightness LED

Fortschritte bei der MOVPE-Technologie ermöglichten ein "Bandgap Engineering" im Nanomaßstab



Gitterangepasste aktive BG-Struktur



- ➔ Q-wells und Barrieren 5-10 nm dick
- ➔ Wellenlängeneinst. durch Al/Ga-Ver.
- ➔ 90% int. Q.E. für rote Emission

$(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_y \text{In}_{1-y} \text{P}$ als Material für rote/orange Hochleistungs-LED

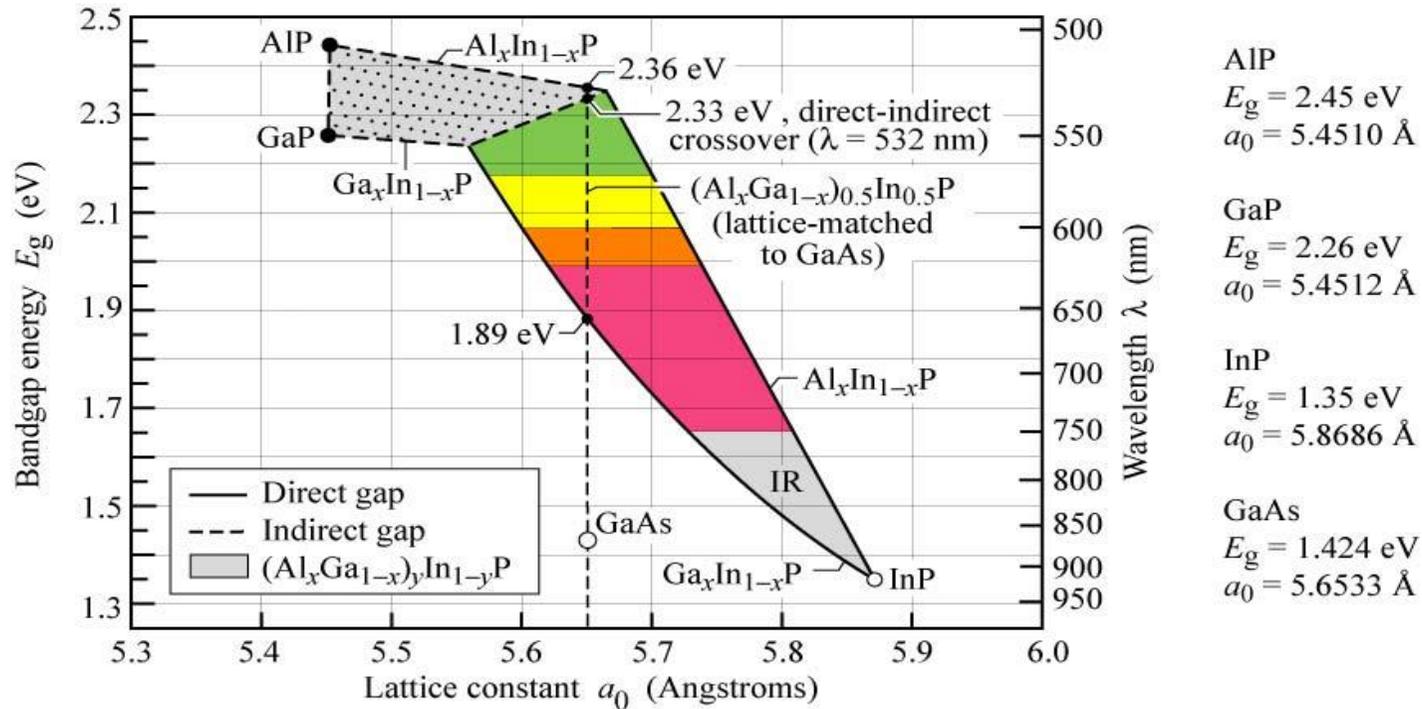


Fig. 12.9. Bandgap energy and corresponding wavelength versus lattice constant of $(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_y \text{In}_{1-y} \text{P}$ at 300 K. The dashed vertical line shows $(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$ lattice matched to GaAs (adopted from Chen *et al.*, 1997).

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

$(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_y \text{In}_{1-y} \text{P}$ erlaubt das Durchstimmen der Bandlücke bei gleichbleibender Gitterkonstante.

Methoden der Epitaxie: 1. Flüssigphasenepitaxie (LPE)

Flüssigphasenepitaxie (Liquid Phase Epitaxy, LPE)

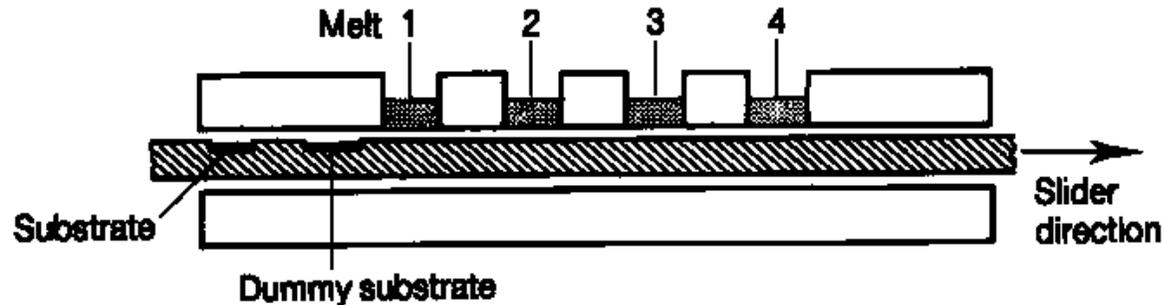


Abb.:
Schema zur Flüssigphasenepitaxie

Fig. 2.8. Apparatus for horizontal liquid phase epitaxy growth.

1. Substrat wird an gesättigter Schmelze vorbeigezogen
2. Abscheidung auf kühlerem Substrat

Nachteile:

- keine sehr präzise Schichtdickenkontrolle (>10 nm)
- hohe Temperaturen erforderlich
- Keine scharfen Übergänge (> 50 Atomlagen)
- Komponenten müssen schmelz- und mischbar sein
- gleichmäßige Schichtdicke schwierig

Vorteile: schnelles Wachstum, kostengünstig, gute Reinheit

Methoden der Epitaxie: Molekularstrahlepitaxie

3.27

2.) Molekularstrahlepitaxie (Molecular Beam Epitaxy, MBE)

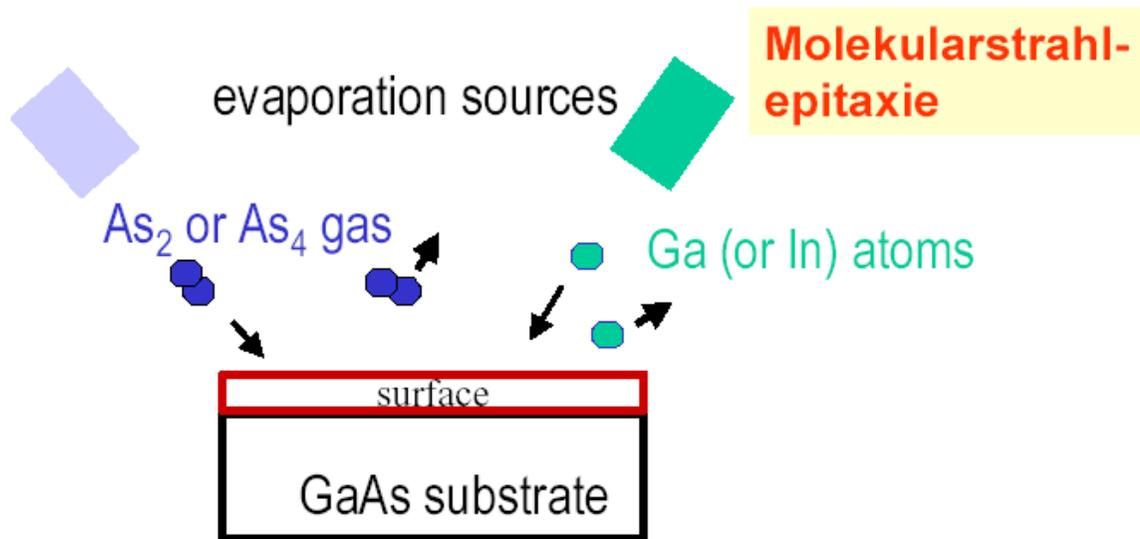


Abb. :
Schema zur Molekularstrahlepitaxie

1. Verdampfung aus fester Quelle im Ultrahochvakuum (10^{-10} mbar)

Methoden der Epitaxie: MBE

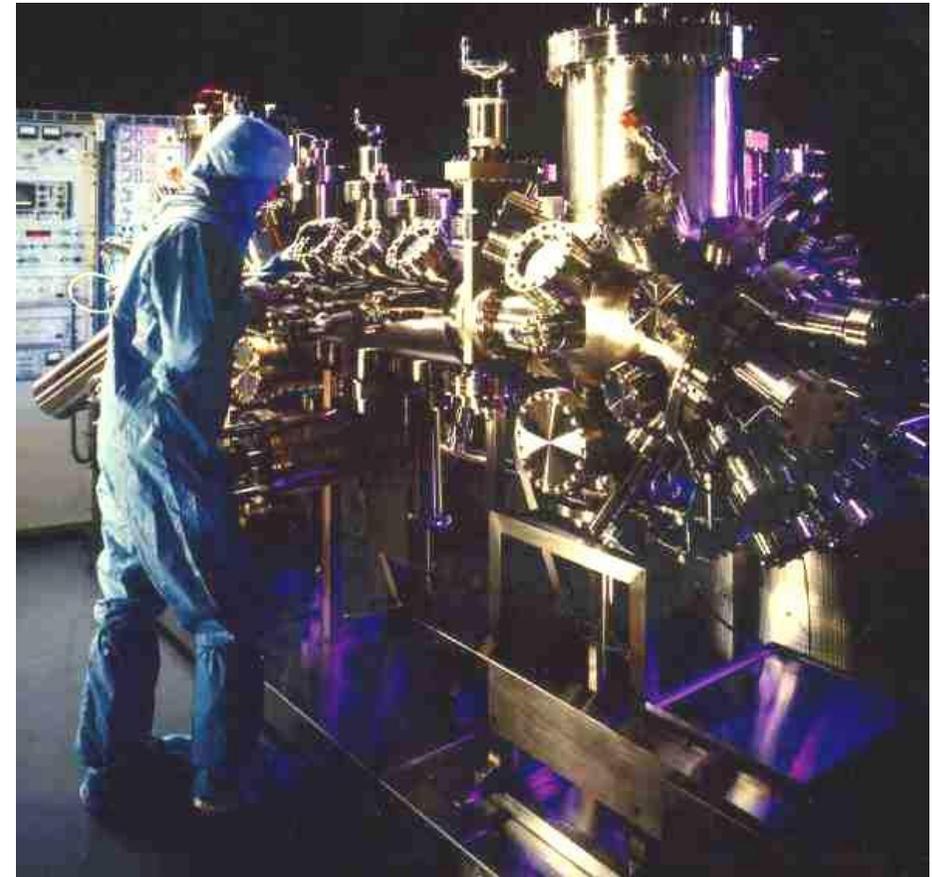
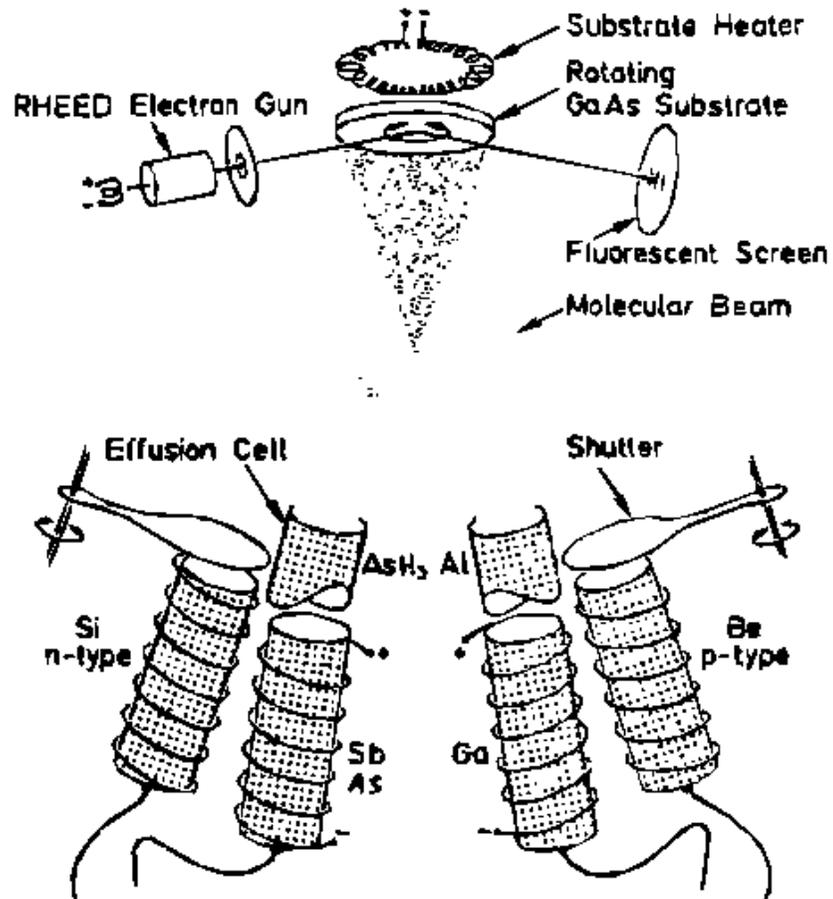


Abb. : Schema und Bild einer MBE-Anlage

Methoden der Epitaxie: MBE

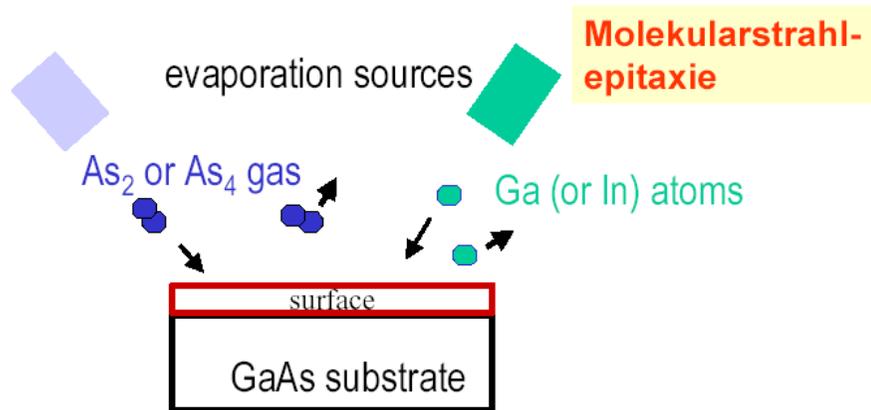


Abb.: Schema zur MBE

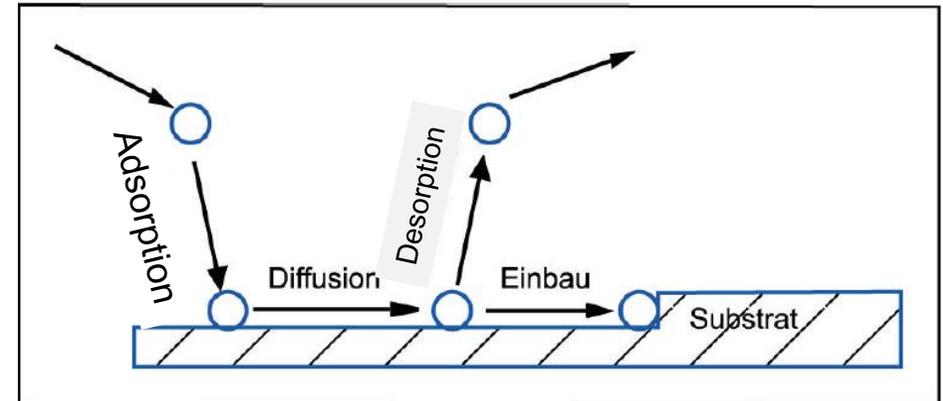


Abb.: Schema zum Atomeinbau bei der MBE

2. Adsorption, Dissoziation (As_2), Diffusion auf Substrat (ggf. Desorption), Einbau an energetisch bevorzugter Position
3. Wachstum einer kristallinen Schicht

Methoden der Epitaxie: MBE

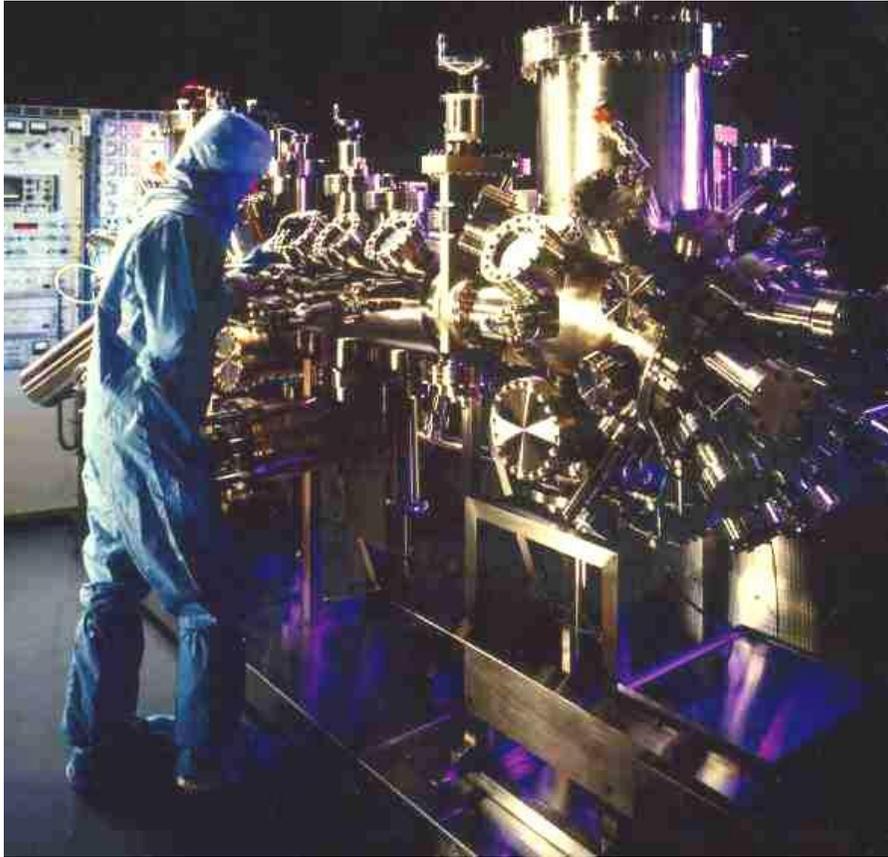


Abb.: Bild einer MBE-Anlage

Vorteile:

- Niedrige Wachstumstemperaturen
 - Sehr dünne Schichten möglich
 - sehr scharfe Übergänge (Monolagen)
 - in-situ Kontrolle mit Elektronenstrahlen
-

Nachteile:

- aufwändige Vakuumtechnik
- dadurch sehr geringer Durchsatz

→ wichtig insbesondere für die Forschung
→ Herstellung von Halbleiterlaserdioden

Unternehmensportrait: ULM Photonics

U L M

VC

P H O T O N I C S

IMPRESSU

PRODUCTS
 TECHNICAL INFOS
 PUBLIC RELATIONS
 ► COMPANY
 internal structure
 milestones
 production facilities
 CONTACT
 JOBS

COMPANY:profile



U-L-M photonics

Facts

- U-L-M Photonics is a 40 people company, dedicated to VCSEL technology.
- As a subsidiary of **Philips Technologie GmbH**, U-L-M Photonics is part of Philips, one of the largest global diversified industrial companies.

Vision

- We place VCSELS on every desk, in every home, and in every car..

Mission

- We are the leading supplier of VCSEL components to global customers for datacom, sensing, and specific power applications.
- Our VCSEL technology shall enable application specific solutions.

Strategy

- We develop and provide leading edge laser technology.
- We know the customers needs and offer world class customized solutions.
- We drive markets by offering superior solutions.

Capabilities

- We operate world class laser manufacturing, including design, development, application knowledge, volume production, and distinguished quality management.

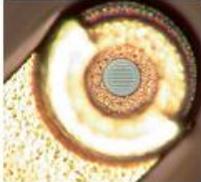
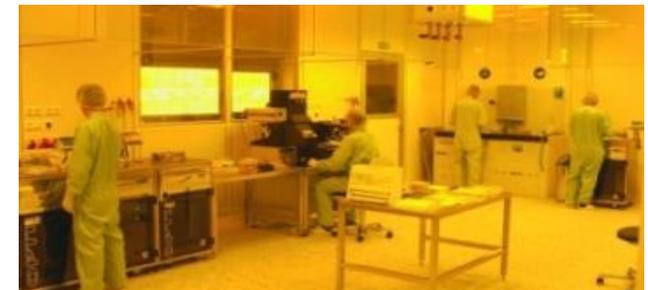
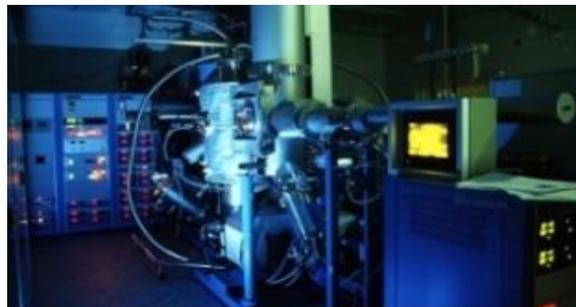




Abb. : www.ulm-photonics.com



Von ULM Photonics zu Philips Photonics

PHILIPS

Global - English

Philips Photonics

Application Areas

Products

Technology

Contact

About Philips Photonics

▼ Leading-edge innovator in VCSEL technology

Application Areas

▼ VCSEL solutions for every project and application area

Products

▼ Browse VCSEL solutions by application area or product type



Philips Photonics - Global leader in VCSEL technology

Infrared laser solutions for datacom, industrial heating, infrared illumination and sensing

Datacom



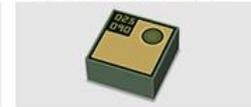
Infrared Power System



Infrared Illumination Module



VCSEL Solutions for Sensing



News & events

Philips Photonics at Sensor + Test 2015, 19-21 May, Nürnberg, Germany



The company's unique products and solutions are based on Philips' know-how in technology, design, quality control and production, an extensive IP portfolio on devices and applications and a strong network to leading suppliers and scientific institutes. The company operates in Ulm, Aachen and Eindhoven and has 20 years of history in VCSEL, dating back to work at the University of Ulm and Philips Research. The Ulm research led to foundation of the ULM Photonics GmbH company in 2000, which was acquired by Philips in 2006.

Übersicht zur Vorlesung Optoelektronik

- I. Einleitung
- II. Optik in Halbleiterbauelementen
- III. Herstellungstechnologien
 - III.0 Lumineszenz
 - III.1 Epitaxie
 - III.1.1 Flüssigphasenepitaxie (LPE)
 - III.1.2 Molekularstrahlepitaxie (MBE)
 - III.1.3 Metallorganische Gasphasen Epitaxie (MOVPE)
 - III.2 Halbleiterquantenstrukturen
 - III.3 Prozessierung

Methoden der Epitaxie: 3.) MOVPE

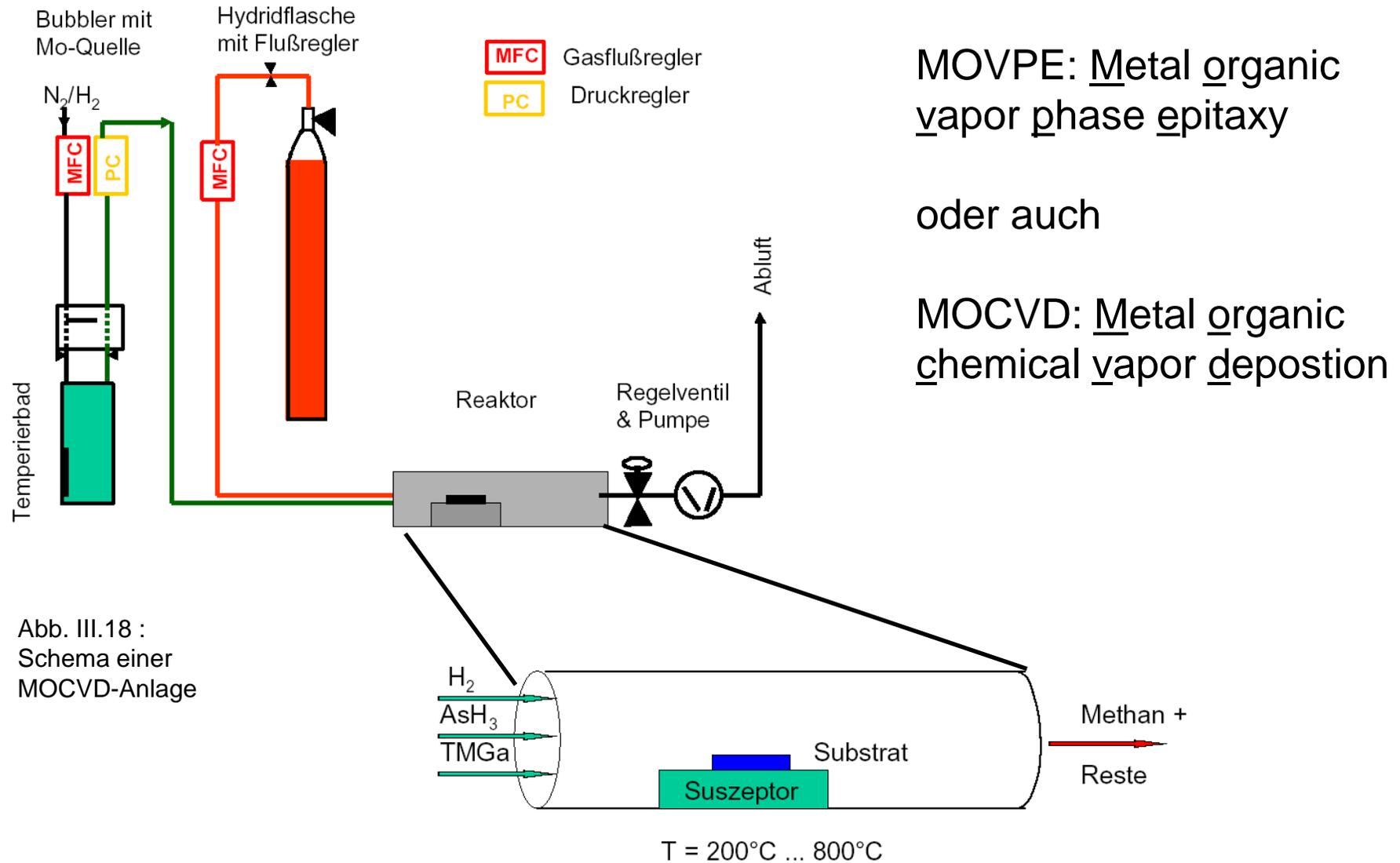


Abb. III.18 :
Schema einer
MOCVD-Anlage

Prinzip einer MOCVD-Anlage zur Abscheidung von III/V-Verbindungshalbleitern

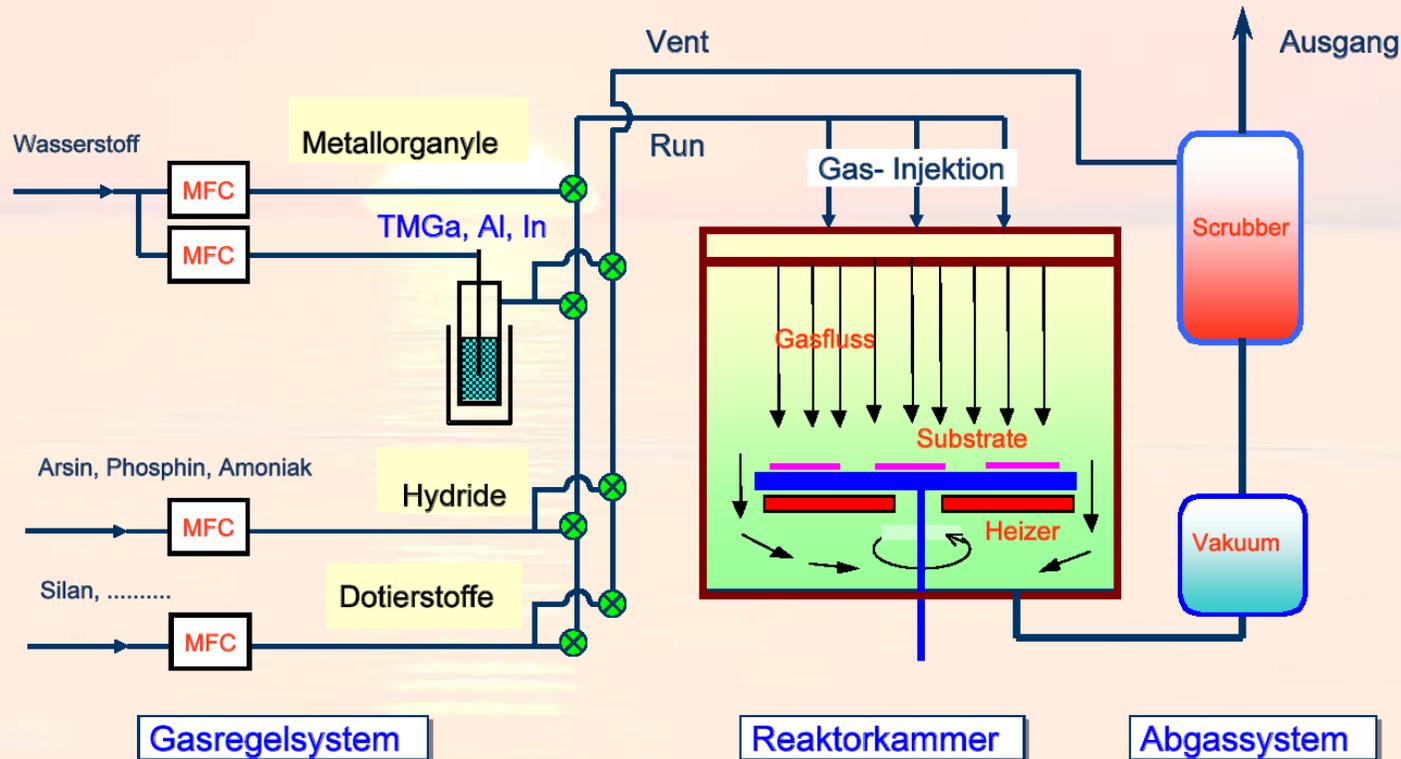


Abb. :
Schema einer
MOCVD-Anlage

MOCVD

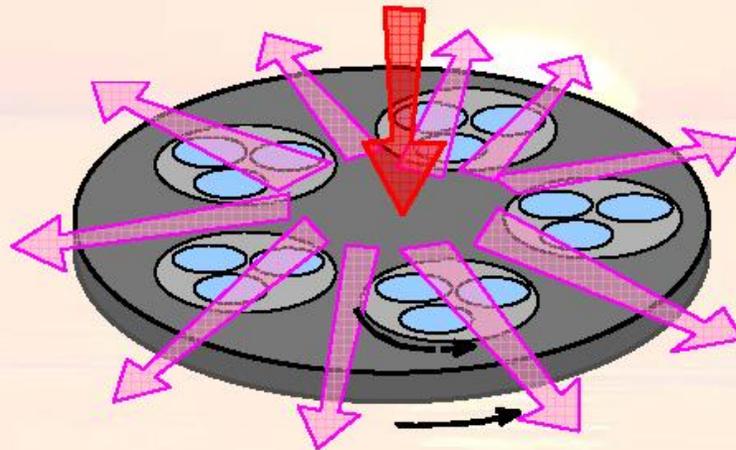
1. Precursor-Moleküle werden mit Trägergas zum geheizten Substrat transportiert
2. thermische Zersetzung auf dem Substrat
3. epitaktisches Wachstum

OSRAM

Quelle: N. Stath, Osram OS

MOCVD-Anlage mit großer Kapazität für die industrielle Fertigung von Optohalbleitern

Gasfluss-Schema mit H₂-Trägergas



Gas Foil Planetary Reactor (AIXTRON)

MOCVD-Produktionsanlage

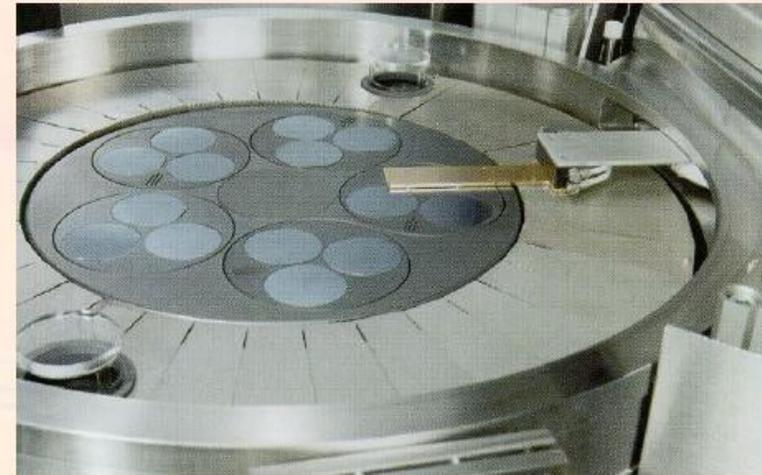
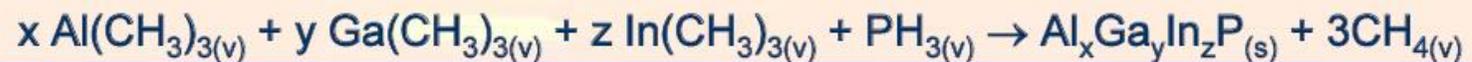


Abb.: MOCVD-Reaktor

Abscheidereaktion bei 750°C - 800°C (Beispiel InGaAlP):



Methoden der Epitaxie: MOVPE

– Vorteile:

- Sehr flexibel, sehr breites Spektrum an Verbindungen
 - Sehr dünne Schichten, scharfe Übergänge
 - Produktion im Großmaßstab möglich
-

– Nachteile:

- Teure, z.T. gefährliche Quellen (Precursor)
-

– Anwendungen:

- Bauelemente mit geringen Schichtdicken, präzisen Grenzflächen und verschiedenen Dotierungen
- dominante Form der Herstellung von Halbleiterheterostrukturen
- Leuchtdioden, Halbleiterlaser, Solarzellen,

Toxizität AsH_3 und PH_3

Geschichte

Im Ersten Weltkrieg wurde Arsenwasserstoff als [Grünkreuz-Kampfstoff](#) eingesetzt

Sicherheitshinweise

Arsenwasserstoff ist die toxischste Arsenverbindung. Ist man einer Konzentration von 20 mg/m^3 länger als 50 Minuten ausgesetzt, so wirkt diese tödlich ([letale Konzentration](#)). $3\text{--}10 \text{ mg/m}^3$ rufen nach mehreren Stunden [Vergiftungserscheinungen](#) hervor. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass Notfallmaßnahmen bei Verdacht auf einen Kontakt mit Arsenwasserstoff sofort durchgeführt werden, da die durch Arsenwasserstoff ausgelöste [Hämolyse](#) zeitverzögert auftreten kann. Notfallkliniken sind in der Regel bei der Behandlung einer sehr selten vorkommenden Arsenwasserstoffvergiftung überfordert. Die verfügbare Literatur gibt keine eindeutigen Handlungsanweisungen. Nutzer sollten sich daher unbedingt vorher mit der nächsten Notfallklinik für die Behandlung in einem Notfall abstimmen.



Sehr giftig!

Verwendung

Monophosphan wird zur [Schädlingsbekämpfung](#), insbesondere zur Mäuse- und Insektenbekämpfung in Getreidesilos und Lagern von Pflanzenprodukten eingesetzt. Die [Begasung](#) kann durch Fachkräfte direkt mit Monophosphangas erfolgen. Häufig werden stattdessen feste Präparate (z. B. mit dem Wirkstoff [Aluminiumphosphid](#) AIP oder [Calciumphosphid](#) Ca_3P_2) ausgelegt, die mit der Luftfeuchtigkeit reagieren und so das Monophosphangas freisetzen.

Es wird auch bei der Herstellung von [Leuchtdioden](#) zur [Dotierung](#) von [Silicium](#) mit Phosphor verwendet. Außerdem wird es zur Synthese diverser organischer Verbindungen verwendet.

Es wurden auch schon Versuche zur Phosphordüngung mittels Monophosphan angestellt.

Sicherheitshinweise[[Bearbeiten](#)]

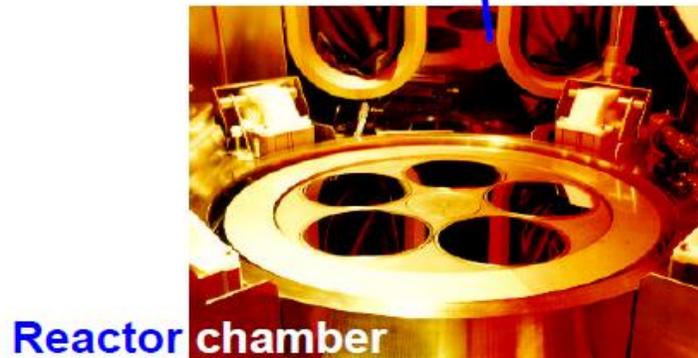
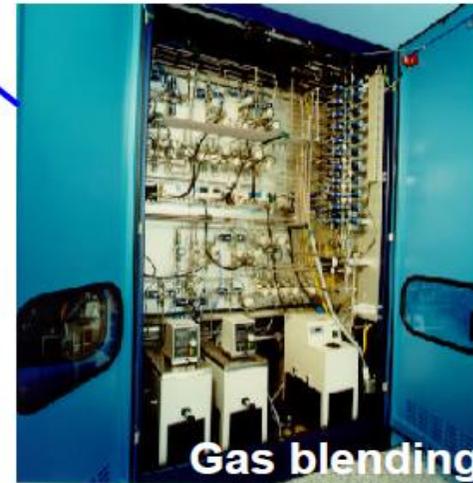
Monophosphan ist ein sehr starkes [Nerven-](#) und [Stoffwechselfgift](#), das nicht nur bei [Säugetieren](#), sondern auch bei [Insekten](#) schon bei niedriger Konzentration hochwirksam ist. Beim Menschen löst es Blutdruckabfall, Erbrechen, [Lungenödeme](#) und [Koma](#) aus. Außerdem ist Monophosphan durch Spuren von [Diphosphan](#) an der Luft selbstentzündlich, was die Handhabung sehr heikel macht.



Sehr giftig!

Unternehmensportrait: Aixtron

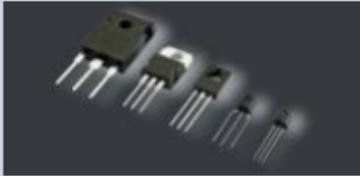
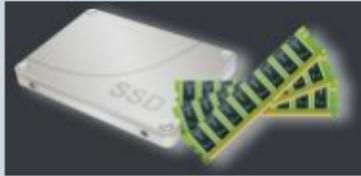
AIXTRON
The CVD
Engineering Company



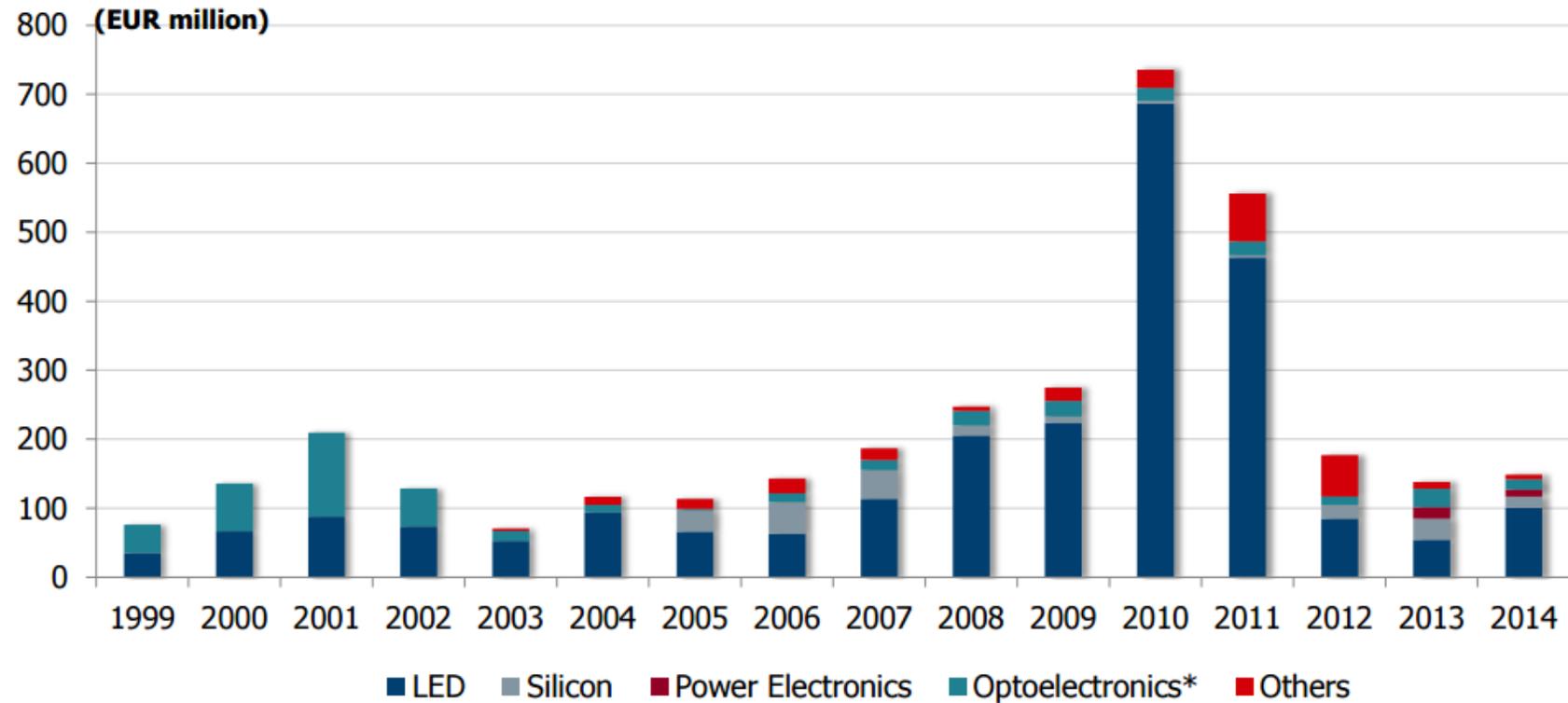
Die Aixtron AG wurde ursprünglich 1983 als Spin-Off der Aachener Universität gegründet. 1989 erhielt das Unternehmen eine exklusive Lizenz für die Multi-Wafer MOCVD Planetary Reactor®-Technologie von Philips. 1997 folgte der Börsengang in Frankfurt. 1999 wurde die britische Thomas Swan zu 100 und die schwedische Epigress zu 70 Prozent übernommen. Im Jahr 2004 übernahmen die Aachener die US-amerikanische Genus Inc. für rund 118 Mio. Euro und erhöhten den Anteil an Epigress auf 100 Prozent.

Quelle: Aixtron

Our Technology Portfolio

Compound Semiconductors		Silicon Semiconductors	Organic	Carbon
MOCVD		ALD/MOCVD	OVPD®/PVPD®/(TFE)	PECVD
LEDs, Lasers and Optoelectronics	Power Management GaN / SiC	Silicon Semiconductors	Organic Electronics	Graphene, CNTs and CNWs
<ul style="list-style-type: none"> • LEDs for display: TVs, mobile phones, tablets, etc. • LEDs for lighting • LEDs for automotive • LEDs for data communication • Telecom lasers • Concentrator Photovoltaics 	<ul style="list-style-type: none"> • RF transistors • AC-DC converters • DC-DC converters • Solar inverters • Motor drives in industrial applications automotive and consumer electronics 	<ul style="list-style-type: none"> • DRAM Dielectric and Metal Electrode • Flash Inter Poly Dielectric and Metals • Logic Gate stack • ReRAM and PCRAM Active element and Electrode • Logic High Mobility Channel 	<ul style="list-style-type: none"> • OLEDs for display: TVs, mobile phones, tablets, etc. • OLEDs for lighting • Organic, flexible electronics • Organic Photovoltaics 	<ul style="list-style-type: none"> • Transistors • Interconnects • Flexible Electronics • Energy Storage • Sensors, etc.
				
Increasing Equipment Demand Expected by: 2014/2015	Increasing Equipment Demand Expected by: 2015	Increasing Equipment Demand Expected by: end of 2014/2015	Increasing Equipment Demand Expected by: 2016/2017	Increasing Equipment Demand Expected by: Beyond 2018

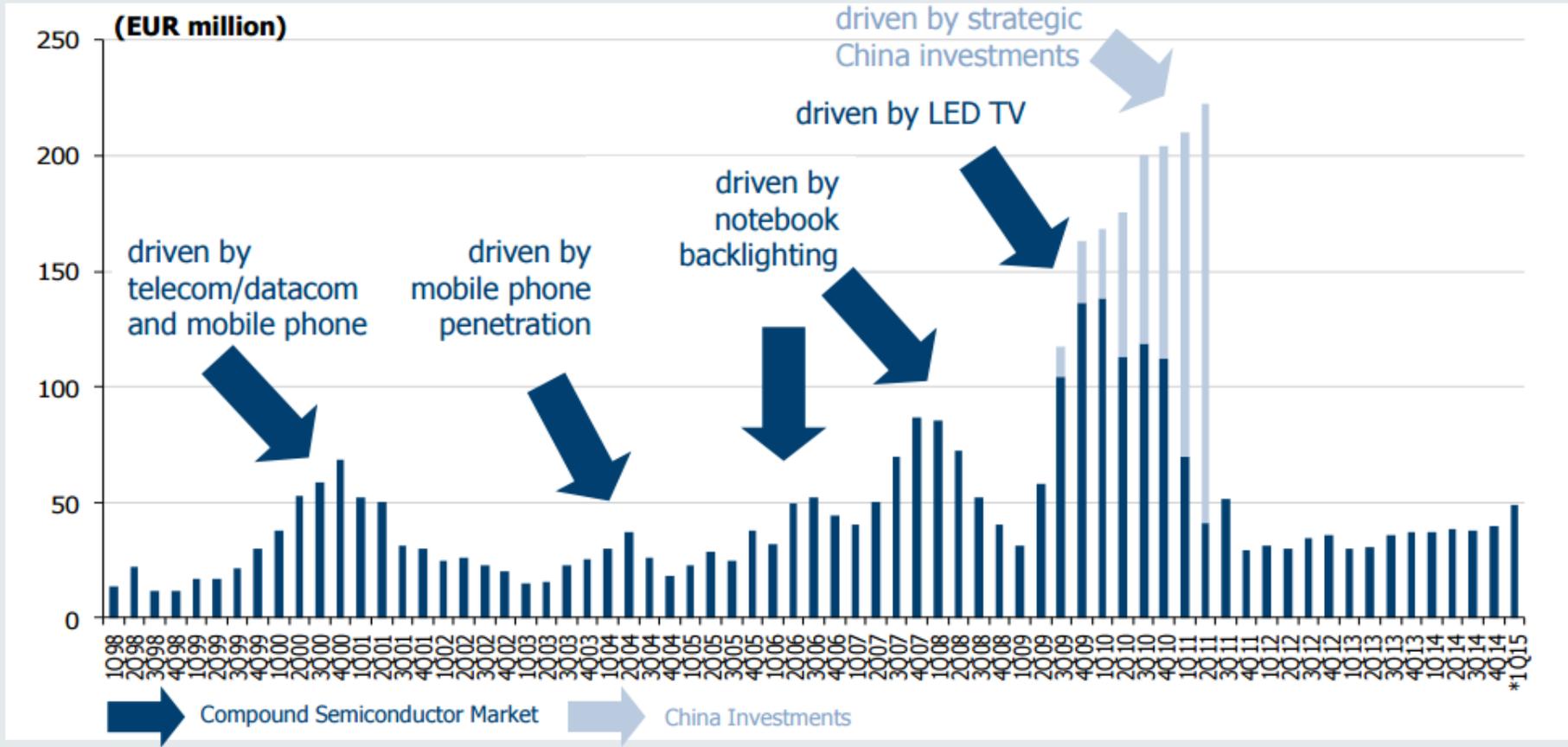
Annual Equipment Revenues by Application (excl. spares)



* Optoelectronics includes applications in Consumer Optoelectronics, Telecom/Datacom, Solar, etc.

Order Intake per Quarter

Source: Deutsche Bank Equity Research, AIXTRON SE



* total order intake including spares & service from Q1/15

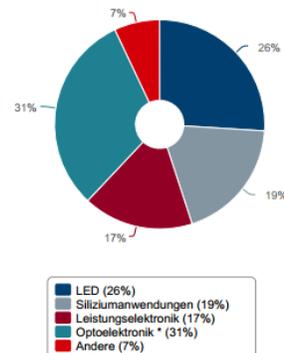
Epitaxieanlagenbau: Aixtron



Aixtron ist Weltmarktführer bei Epitaxieanlagen
Mitarbeiter: 748 (2015)

UMSATZERLÖSE NACH REGIONEN 2015

UMSATZERLÖSE NACH ENDANWENDUNGEN 2015



* Optoelektronik, Solar, Telecom/Datacom, Unterhaltungselektronik

ANZAHL DER MITARBEITER

