

AIXTRON

# Global Presence



● AIXTRON Group  
○ Representation



[www.aixtron.com](http://www.aixtron.com)

## CHINA

AIXTRON China Ltd.  
Phone +86 (21) 6445 3226  
Fax +86 (21) 6445 3742  
E-Mail [chinainfo@aixtron.com](mailto:chinainfo@aixtron.com)

## DEUTSCHLAND

AIXTRON SE  
Phone +49 (2407) 9030 0  
Fax +49 (2407) 9030 40  
E-Mail [info@aixtron.com](mailto:info@aixtron.com)

## JAPAN

AIXTRON K.K.  
Phone +81 (3) 5781 0931  
Fax +81 (3) 5781 0940  
E-Mail [japaninfo@aixtron.com](mailto:japaninfo@aixtron.com)

## KOREA

AIXTRON Korea Co., Ltd.  
Phone +82 (31) 783 2220  
Fax +82 (31) 783 4497  
E-Mail [koreainfo@aixtron.com](mailto:koreainfo@aixtron.com)

## TAIWAN

AIXTRON Taiwan Co., Ltd.  
Phone +886 (3) 571 2678  
Fax +886 (3) 571 2738  
E-Mail [taiwaninfo@aixtron.com](mailto:taiwaninfo@aixtron.com)

## GROSSBRITANNIEN

AIXTRON Ltd.  
Phone +44 (1223) 519 444  
Fax +44 (1223) 519 888  
E-Mail [info@aixtron.com](mailto:info@aixtron.com)

## USA

AIXTRON Inc.  
Phone +1 (408) 747 7140  
Fax +1 (408) 752 0173  
E-Mail [usinfo@aixtron.com](mailto:usinfo@aixtron.com)



BASISWISSEN FÜR NEUEINSTEIGER

# Was ist MOCVD?

## AIXTRON

Our technology. Your future.

## Inhaltsverzeichnis

MOCVD für Neueinsteiger . . . . .	3
MOCVD – eine Definition . . . . .	4
Planetary Reactor®-Technologie . . . . .	5
Close Coupled Showerhead® Technology . . . . .	6
AIXTRON MOCVD . . . . .	7
Was sind III-V-Halbleiter? . . . . .	8
Wie funktioniert MOCVD? . . . . .	9
Epitaxie: Wachstum von kristallinen Schichten . . . . .	10
Präzision in der Beschichtung . . . . .	11
Von der Beschichtung zum Bauelement . . . . .	12
Wie funktioniert eine LED? Aufbau und Funktionsweise	14

## MOCVD für Neueinsteiger

**Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)** – auf Deutsch: metallorganische chemische Gasphasenabscheidung – ist ein hochkomplexes Verfahren zum Wachstum von kristallinen Schichten.

**MOCVD** kommt etwa in der Produktion von **LEDs, Lasern, Transistoren, Solarzellen** oder anderen elektronischen und optoelektronischen Bauteilen zum Einsatz und ist **die Schlüsseltechnologie** für Zukunftsmärkte mit hohem Wachstumspotenzial ...

... man denke nur an LED-Anwendungen im Beleuchtungsmarkt, die sich in den kommenden Jahren massiv im privaten,

kommerziellen und öffentlichen Bereich als Standard etablieren werden. Mit der vorliegenden Broschüre möchten wir einen ersten Einblick geben, wie **MOCVD** funktioniert und erklären, bei welchen Anwendungen diese Technologie zum Einsatz kommt.

Die Publikation hat nicht den Anspruch einer wissenschaftlichen Abhandlung für Experten, sondern soll dem Laien auf verständliche Art und Weise nahe bringen, wie Gasphasenabscheidung funktioniert und warum diese Technologie so viel Zukunftspotenzial in sich birgt.

### IMPRESSUM

AIXTRON SE · Dornkaulstraße 2 · 52134 Herzogenrath · Deutschland

### LAYOUT

www.eric-zimmermann.com



Der **Planetenreaktor** von oben:  
Ein Beispiel für unsere Schlüsseltechnologie

## MOCVD – eine Definition

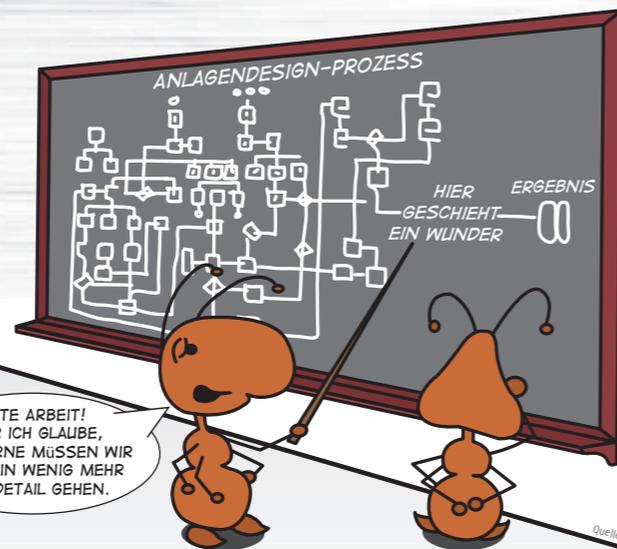
**MOCVD** ist eine Technologie, mit deren Hilfe man ultradünne Schichten von Atomen auf einen Halbleiter-Wafer aufbringen kann (Wafer sind dünne Scheiben, meistens aus Silizium oder Saphirglas hergestellt).

MOCVD ist das bedeutendste Herstellungsverfahren für **III-V-Verbindungshalbleiter**, insbesondere für solche, die auf Galliumnitrid (GaN) basieren.

Diese Halbleiter sind das wichtigste Basismaterial für die Herstellung von roten, blauen, grünen und weißen LEDs.

AIXTRON bietet hauptsächlich zwei verschiedene Anlagentypen für MOCVD-Beschichtungsprozesse an:

**Die Planetary Reactor®-** sowie die **Close Coupled Showerhead®**-Technologie.



Quelle: unbekannt

## Planetary Reactor®-Technologie

Das Prinzip des **Planetenreaktors** beruht auf dem so genannten **horizontalen Laminarfluss**.

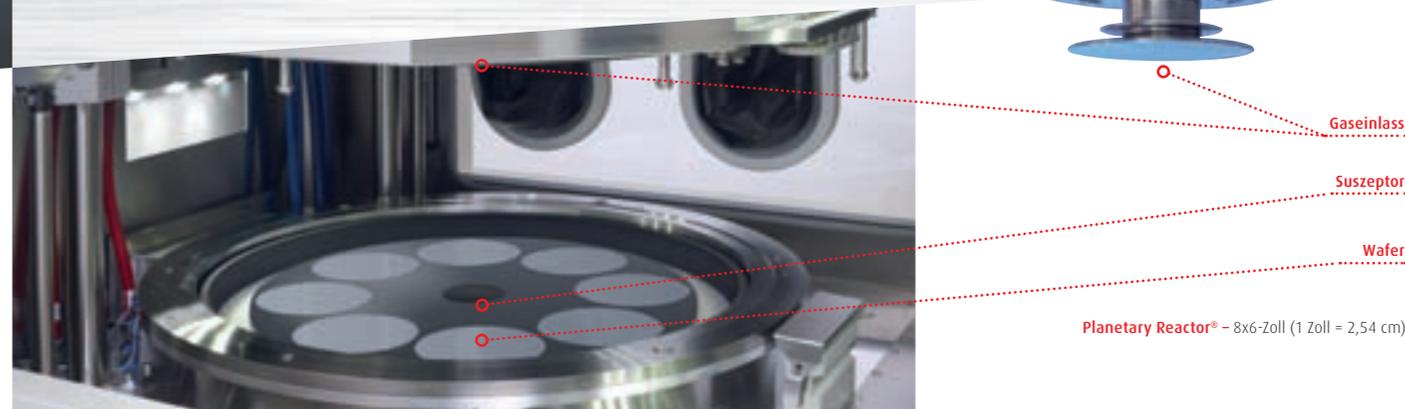
Dabei werden die für den Beschichtungsprozess erforderlichen Gase durch einen speziellen **Gaseinlass** im Reaktordeckel in die Mitte einer Kammer eingebracht.

Eine Pumpe extrahiert die Gase und bewirkt, dass sie sehr gradlinig und gleichmäßig von der Mitte zu den Rändern der Kammer über die heißen **Wafer** strömen.

Dabei spalten sich die Chemikalien auf, reagieren miteinander, und die erwünschten Atome diffundieren durch die Gasphase auf die Waferoberfläche – atomare Schicht auf atomarer Schicht.

Jeder einzelne Wafer liegt auf einer Ablagefläche, die sich während des gesamten Beschichtungsprozesses langsam dreht. Dadurch erhält man eine sehr gleichmäßige Verteilung der Materialien: nicht nur auf den einzelnen Wafern, sondern auch von **Wafer zu Wafer**.

Die Eigenschaften des beschichteten Kristalls auf dieser fast atomaren Ebene lassen sich durch den Einsatz unterschiedlicher Ausgangsmaterialien variieren. Für den Kunden bedeutet dies, dass er Halbleiterschichten (in einer Stärke von einem Millionstel Millimeter) von höchster Qualität produzieren kann. Diese können für die Herstellung unterschiedlichster elektronischer und **opto-elektronischer Bauteile wie LEDs, Laser oder Solarzellen** verwendet werden.



Planetary Reactor® – 8x6-Zoll (1 Zoll = 2,54 cm)

## Close Coupled Showerhead® Technologie

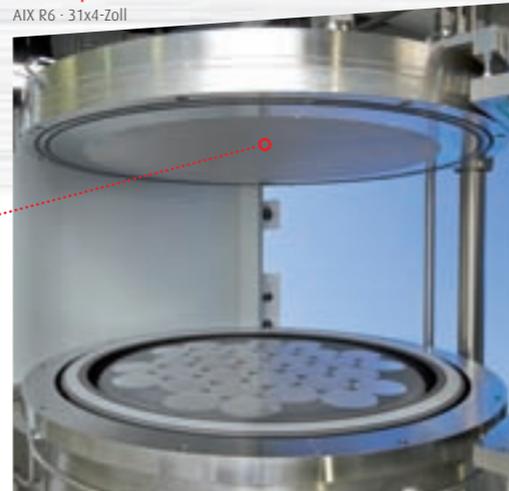
Bei der **Close Coupled Showerhead®-Technologie** werden Chemikalien **vertikal in die Prozesskammer** eingebracht, wo sie sich dann zu Kristallen formen.

Im **Reaktor** werden die Gase durch viele kleine Kanäle im Reaktordeckel vertikal eingelassen – ähnlich wie ein Duschkopf im Badezimmer funktioniert.

Das Design des Showerheads stellt sicher, dass die Prozessgase sehr **ebenmäßig** über die gesamte Oberfläche der Wafer verteilt werden. Da sich der Showerhead nah an den erhitzten Wafern befindet, spalten sich die Chemikalien sehr schnell auf und diffundieren aus der Gasphase auf die Waferoberfläche.

Die Art und Weise, wie die Gase in die Prozesskammer hineinströmen und auf die Wafer gelangen, ist bei beiden Technologien unterschiedlich. Die Ergebnisse sind bei beiden Prozessen jedoch vergleichbar.

Close Coupled Showerhead® -  
AIX R6 - 31x4-Zoll



Showerhead

## AIXTRON MOCVD

Im Herzen der Anlage, der Reaktorkammer, findet die jeweils gewünschte Art von Beschichtungsprozess statt.

Hier werden die Halbleiterschichten bei unterschiedlichen Temperaturen (bis zu ca. 1.200°C) auf die aufliegenden Wafer aufgebracht.

- Gasmischsystem
- Prozesspumpenvakuumsystem
- Insitu-Metrologie (Messsysteme, die kontrollieren, was im Reaktor passiert)
- integrierte Waferhandler zur Automatisierung
- Energieversorgungseinheit

Weitere wichtige Komponenten, die in der Anlage modular zum Einsatz kommen, sind ...



Close Coupled Showerhead®-Technologie  
am Beispiel einer AIX R6 Anlage

## Was sind III-V-Halbleiter?

**MOCVD** ist ein Verfahren zur Herstellung von komplexen Halbleiterstrukturen, wie sie in modernen elektronischen und optoelektronischen Bauelementen, wie z. B. LEDs, Laser, Solarzellen oder Hochgeschwindigkeitstransistoren, verwendet werden.

Im Gegensatz zum bekannten Silizium (aus dem z. B. Computerchips hergestellt werden) bestehen diese Halbleiter nicht nur **aus einem einzigen Element**, sondern aus mindestens zwei und mehr.

Sie werden daher als „Verbindungshalbleiter“ bezeichnet.

Periodensystem  
(Ausschnitt)

Periode	Gruppe					
	II	III	IV	V	VI	
2	Be 9,0 4	B 10,8 5	C 12,0 6	N 14,0 7	O 16,0 8	
3	Mg 24,3 12	Al 27,0 13	Si 28,1 14	P 31,0 15	S 32,1 16	
4	Ca 40,1 20	Ga 69,7 31	Ge 72,6 32	As 74,9 33	Se 79,0 34	
5	Sr 87,6 38	In 114,8 49	Sn 118,7 50	Sb 121,8 51	Te 127,6 52	
6	Ba 137,3 56	Tl 204,4 81	Pb 207,2 82	Bi 209,0 83	Po 209 84	

Al = Aluminium  
Ga = Gallium  
In = Indium  
N = Stickstoff  
P = Phosphor  
As = Arsen  
Sb = Antimon

Zu diesen Materialien gehören z. B. Galliumarsenid (GaAs), Indiumphosphid (InP) und Galliumnitrid (GaN) und andere Verbindungen. Da sie entsprechend ihrer Anordnung im Periodensystem aus der III. und V. Hauptgruppe stammen und kristalline Verbindungen miteinander eingehen, werden sie auch III-V-Halbleiter genannt.

**Verbindungshalbleiter** haben gegenüber Silizium als Halbleiter entscheidende Vorteile. Elektronen können sich in ihnen sehr schnell bewegen, daher können Bauelemente aus III-V-Halbleitern beispielsweise die sehr hohen Frequenzen im Mobiltelefon gut „verarbeiten“.

Außerdem funktionieren Verbindungshalbleiter-Bauelemente auch noch bei sehr hohen Temperaturen. Ihre größte Stärke besteht jedoch darin, dass sie Licht effizient in elektrischen Strom (und umgekehrt) umwandeln – darauf basieren Hochleistungssolarzellen und alle Leuchtdioden (LEDs).

## Wie funktioniert MOCVD?

Bei der Produktion von **Verbindungshalbleitern** werden die Chemikalien – metallorganische Verbindungen – verdampft und zusammen mit anderen Gasen in den Reaktor eingeführt.

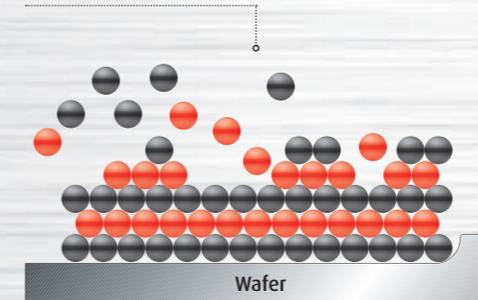
Dort findet die entscheidende chemische Reaktion statt, bei der aus den gasförmigen Materialien der begehrte Kristall (der Verbindungshalbleiter) entsteht. Die bei der MOCVD eingeführten Gase sind hochrein und können äußerst fein dosiert werden.

AIXTRON MOCVD-Anlagen ermöglichen eine Beschichtung von großen Flächen und sind daher die erste und kostengünstigste Wahl für viele Hersteller von Verbindungshalbleitern.

**AIXTRON ist ein weltweit führender Anbieter dieser Technologie.**

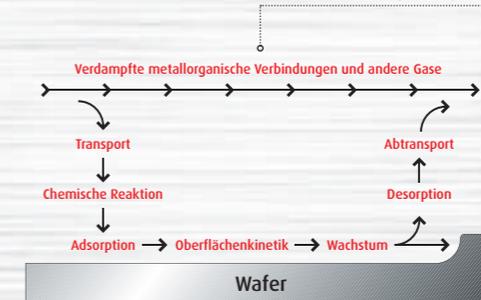
### Oberflächenprozesse

während des Schichtwachstums



### Beschichtungsprozesse

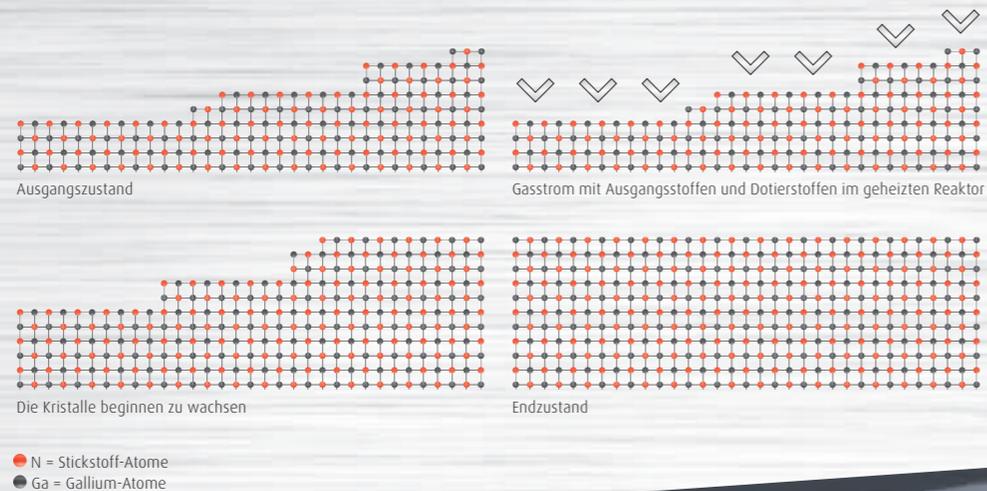
finden auf den Substraten (Wafers) statt



Die im Beschichtungsprozess verwendeten Chemikalien sind Atome aus der Gruppe III, etwa Ga, In, Al, die mit komplexen organischen Gasmolekülen verbunden werden. Außerdem Atome aus der Gruppe V, wie As, P, N, die mit Wasserstoffatomen kombiniert werden.

## Epitaxie: Wachstum von kristallinen Schichten

Unter **Epitaxie** versteht man das Aufbringen dünner, einzelner Schichten auf ein geeignetes Trägermaterial (**Substrat**), auf dem sie in Form von Kristallen wachsen. Das Wort stammt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „aufgeordnet“.



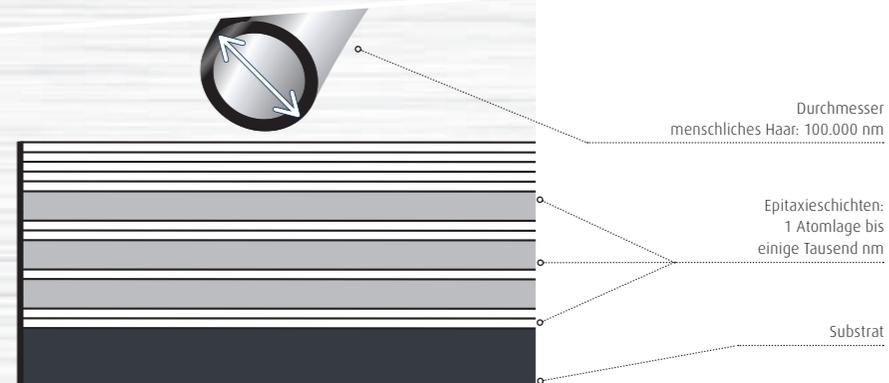
Substrate in einem AIXTRON Reaktor

## Präzision in der Beschichtung

Präzision ist alles: Die dünnsten Schichten, die in einer LED-Struktur benötigt werden, sind weniger als ein Nanometer dick (das sind 0,000001 mm). Diese dünnen Schichten werden in der Regel auf Substraten mit einem Durchmesser von vier Zoll aufgebracht (100 mm Ø). Wenn wir das mit der **Fläche Deutschlands** vergleichen, hieße das, eine Schneedecke von nur 1 cm Höhe gleichmäßig über das gesamte Land zu verteilen.



Auch in der späteren Weiterverarbeitung zum **LED-Chip** kommt es auf Genauigkeit im Nanometerbereich an. Hier zum Vergleich: Der Querschnitt eines menschlichen Haares im Größenvergleich zu den Epitaxieschichten auf dem Substrat.





## Die Laserdiode

Eine **Laserdiode** sendet einen schmalen Strahl konzentrierten Lichts mit einer hohen Energiedichte und einer exakt bestimmten Lichtfarbe. Die Kristallstruktur eines Lasers ähnelt der einer LED. Um Licht aus der Laserdiode zu erzeugen, ist eine extrem gute Kristallqualität sehr wichtig,

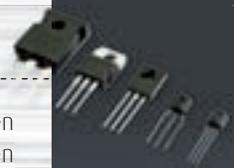
ebenso wie mikroskopisch genaue Schnittstellen der Schichten. Der Vorteil von Laserdioden gegenüber anderen Lasertypen ist ihre kurze Reaktionszeit. Sie können ohne langen Vorlauf ein- und ausgeschaltet werden und sind außerdem sehr klein.

## Der Transistor

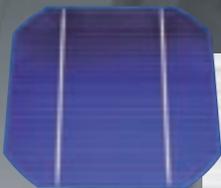
Ein **Transistor** ist ein Halbleiter-Bauelement, das man zur Verstärkung und Steuerung elektronischer Signale nutzt.

Transistoren werden gewöhnlich für elektrische Schalter genutzt – sowohl für „High Power“-An-

wendungen wie getaktete Stromversorgungen als auch für niedrigenergetische Anwendungen wie Schaltelemente. III-V-Transistoren sind die elektronischen Schlüsselemente in Anwendungen wie Mobiltelefone, Hybridautos oder intelligente Stromnetze.



## Von der Beschichtung zum Bauelement



### Die Solarzelle

Eine **Solarzelle** ist ein Festkörperbauteil, das mit Hilfe von photovoltaischen Prozessen Sonnenlicht direkt in Elektrizität umsetzt. Einzelne Zellen werden zu Solarmodulen zusammengesetzt, auch bekannt als Solarpanel. Die verwendeten Materialien sind hauptsächlich Silizium, Cadmium-Tellurid und Kupfer-Indium-Selenid/Sulfit. Die meisten der-

zeit erhältlichen Solarzellen werden aus Silizium gefertigt. **III-V-Solarzellen** werden vor allem in Satelliten verbaut, da sie mit Blick auf kosmische Strahlung sehr widerstandsfähig sind. In so genannten Konzentratoren-Solarzellen können die hocheffizienten III-V-Solarzellen auch für terrestrische Anwendungen eingesetzt werden.

## Von der Beschichtung zum Bauelement

### Die LED

**LEDs** gehören zu den kleinsten Lichtquellen der Welt. Aufgrund der geringen Energieaufnahme und niedrigen Wärmestrahlung sind LEDs ökonomischer, sicherer und langlebiger als herkömmliche Leuchtmittel. Die kleinsten LEDs

haben üblicherweise eine Fläche von 0,1 mm<sup>2</sup>, wohingegen die „highpower“ LEDs eine Fläche von mehreren Quadratmillimetern haben und eine Leistung von mehreren hundert Lumen erbringen kann.



#### Bildnachweis Seite 12-14:

Laserdiode: © Fraunhofer ILT, Aachen

Solarzelle und Transistoren:

© Bapic & rockerman - Fotolia.com

LED-Birne: © Thomas Söllner - Fotolia.com

LED: © OSRAM GmbH, München

Power Chip LED: © OSRAM GmbH, München

LED-TV: © Samsung

#### Zu den Abbildungen oben ...

Nach dem **MOCVD-Beschichtungsprozess** können die verschiedenen Kristallstrukturen zu unterschiedlichen elektronischen und opto-elektronischen Bauelementen weiterverarbeitet werden. **Dazu gehören LEDs, Laser, Solarzellen oder Transistoren.**

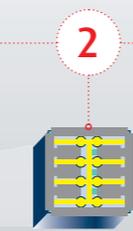
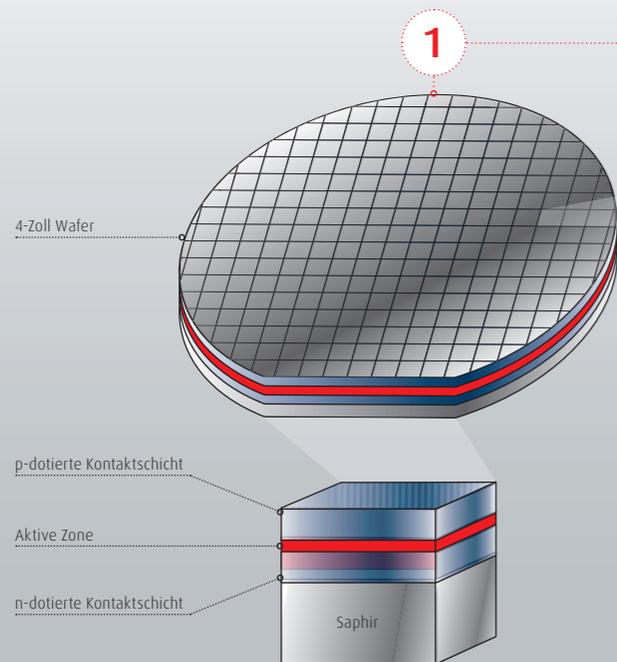
#### Leuchtmittel der Zukunft ...

LEDs der neuesten Generation für Allgemeinbeleuchtung werden auch im handelsüblichen „Glühbirnenformat“ angeboten, damit ein Austausch gegen herkömmliche Leuchtmittel, etwa im Privathaushalt, unkompliziert vorstatten gehen kann.

**Wie genau LEDs entstehen und wie sie funktionieren, erläutert ein Exkurs auf den folgenden Seiten.**



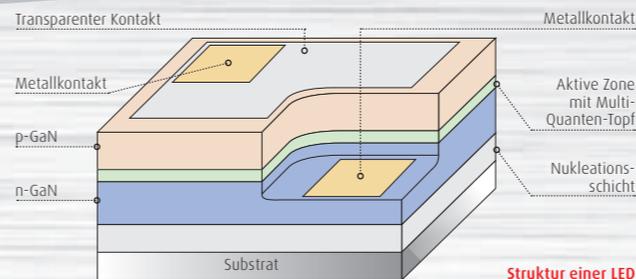
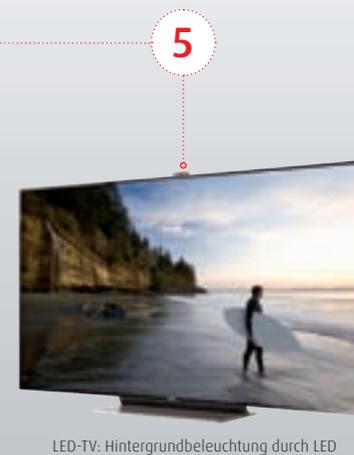
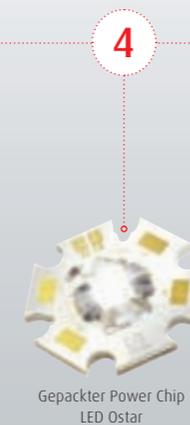
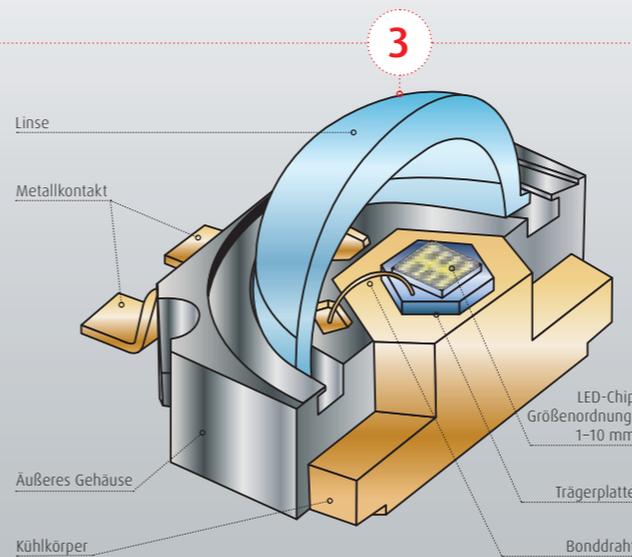
## Wie funktioniert eine LED?



Power Chip (Beispiel):  
1 mm x 1 mm

Nach dem **Beschichtungsprozess** werden die Wafer zu Chips weiterverarbeitet, bis schließlich eine fertige LED entsteht. Ein 4-Zoll-Wafer liefert – je nach Chipgröße – zwischen 4.000 und 120.000 LED-Chips.

## Aufbau und Funktion



**Wussten Sie schon ... ?** Die wissenschaftliche Funktionsweise einer LED: Eine LED besitzt eine so genannte aktive Zone, die die Farbe des Lichts bestimmt. Diese ist eingebettet in eine p- und eine n-dotierte Schicht, die der aktiven Zone beim Stromfluss Elektronen (n-Seite) und sogenannte „Löcher“ (p-Seite) zuführen. Elektronen und Löcher

zerstrahlen in der aktiven Zone dann zu Photonen, also Licht. N- und p-Dotierung erzielt man durch Einbringung von Fremdatomen (z. B. Silizium für n- oder Magnesium für p-Dotierung). Diese Fremdatome lassen sich während des MOCVD-Wachstums über den Gasfluss in die wachsende Schicht einstreuen.