

# Semiconductor Devices

# Halbleiterbauelemente

Präsentation SSP

Immanuel Mayrhuber, Boris Scherwitzl

# Übersicht

- Erklärung eines pn-Übergangs
- Halbleiterdioden
- Photodioden
- Leuchtdioden
- Bipolartransistor
- JFET
- MOSFET

# pn-Übergang

- Übergang von p-dotiertem auf n-dotiertes Material
- Ausbildung einer Raumladungszone (RLZ)
- Built-In-Voltage bei Silizium 0,6-0,7 Volt
- Polung in Sperrrichtung -> Vergrößerung der RLZ
- Polung in Durchlassrichtung -> Stromfluss
- Anwendung: Halbleiterdioden, Photodioden, Transistoren aller Art

# Halbleiterdiode

- Einfacher pn-Übergang
- Nichtlineare Strom-Spannungskennlinie
- Betriebsbereich 0,6-0,7 Volt
- Anwendung: Gleichrichter

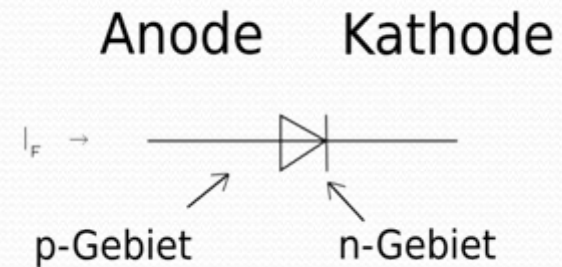
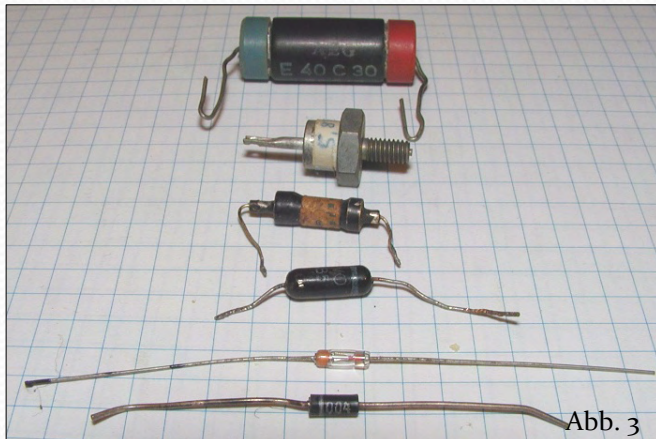


Abb. 1

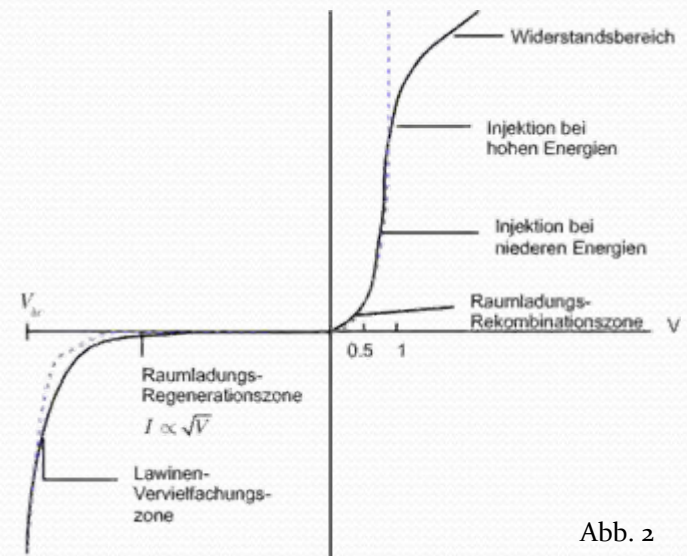
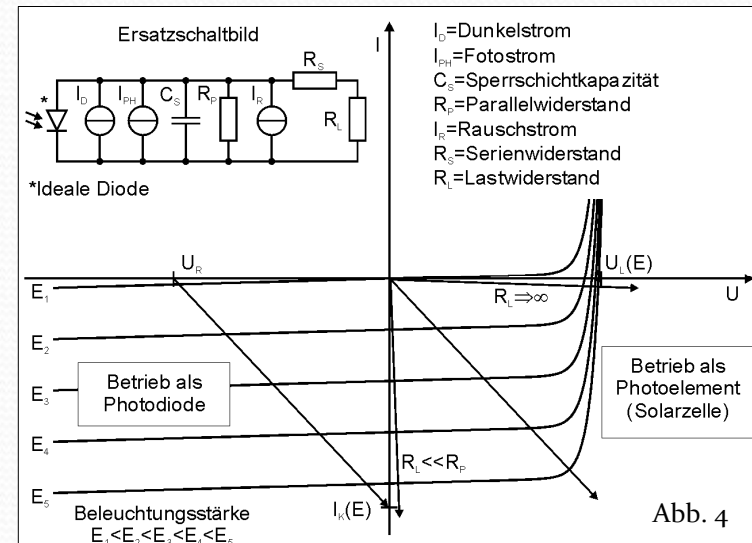


Abb. 2

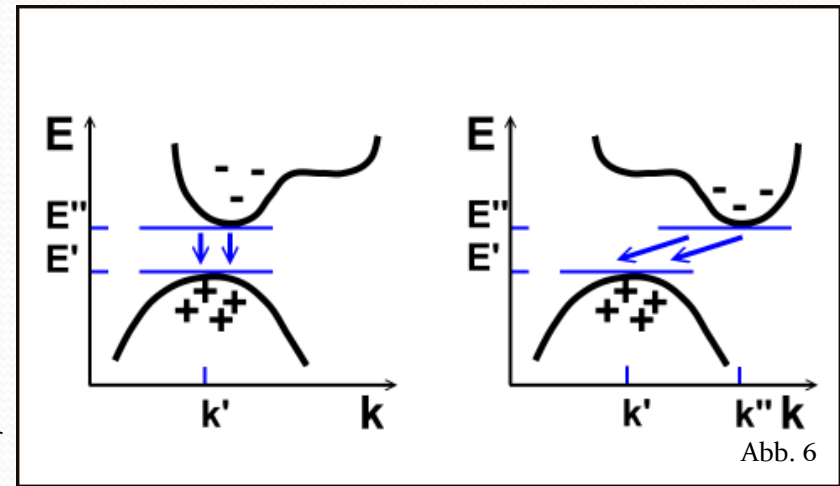
# Photodiode

- Halbleiterdiode, wandelt Licht in elektrischen Strom
- Innerer Fotoeffekt
- 3 Betriebsarten:
  - > Fotoelement
  - > Quasi-Kurzschluss
  - > Sperrbetrieb
- Anwendung:
  - > Empfänger für LWL
  - > Digitalkameras
  - > Optische Laufwerke



# Leuchtdiode (LED)

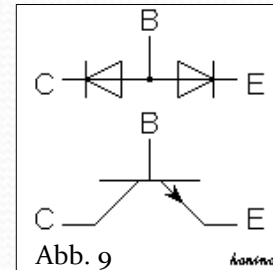
- Sendet Licht im IR-, VIS- und UV-Bereich aus
- Rekombination von  $e^-$  und Löchern in der pn-Schicht
- Direkte Halbleiter  $\rightarrow$  Photon
- Indirekte Halbleiter  $\rightarrow$  Phonon
- Anwendung: Anzeigen, Leuchtmittel



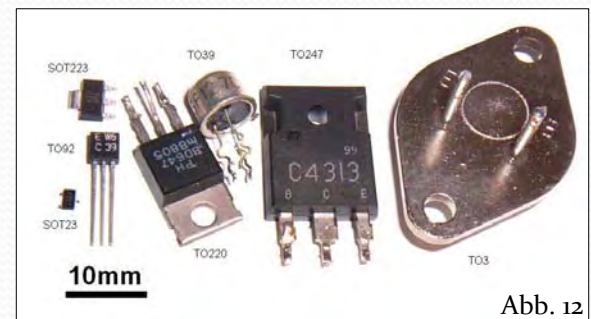
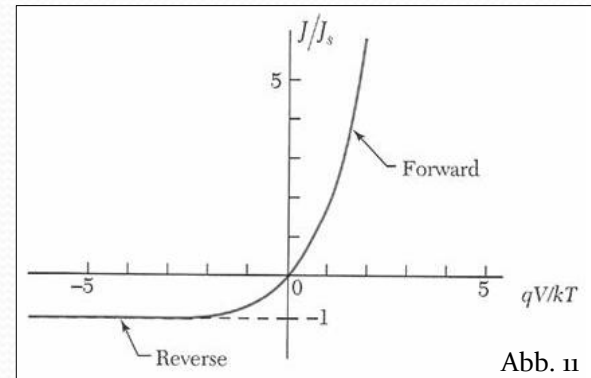
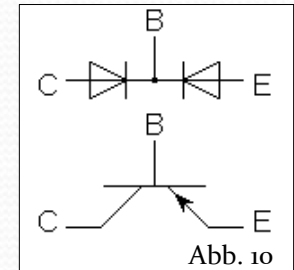
# Bipolartransistor

- Zwei gegeneinander geschaltete pn-Übergänge
- Elektronen und Löcher für Funktion notwendig
- Anschlüsse: Basis B, Emitter E, Kollektor C
- Basisstrom  $I_B$  steuert Kollektorstrom  $I_C$
- Stromverstärkungsfaktor  $\beta$

npn



pnp



# Bipolartransistor

- Arbeitsbereiche:
  - > Sperrbereich: kein Strom
  - > Verstärkungsbereich:  $I_C$  linear zu  $I_B$
  - > Sättigungsbereich:  $I_C$  unabhängig von  $I_B$

# Feldeffekttransistor (FET)

- 3 Anschlüsse
  - -> Gate
  - -> Source
  - -> Drain
- Leitfähigkeit der Drain-Source Strecke über Steuerspannung beeinflusst
- Leistungsfreie Steuerung möglich
- Unterscheidung von Einzeltransistoren und integrierten FETs (Substrat)

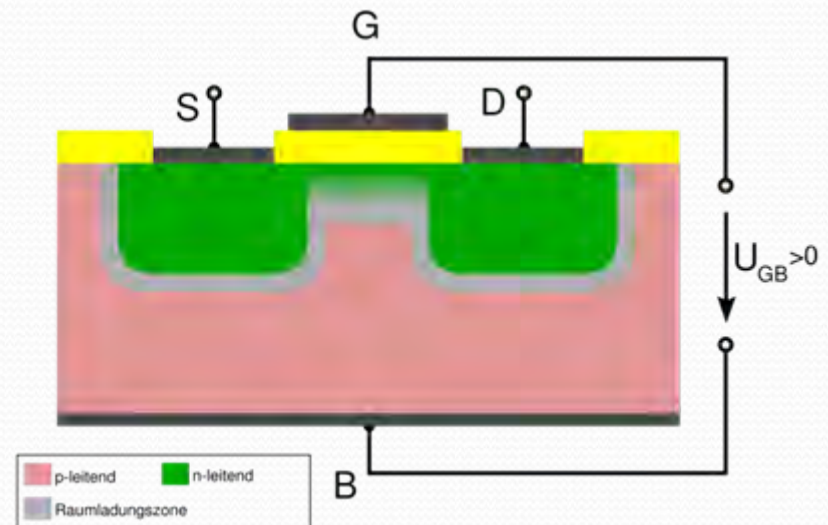


Abb. 13

# Steuerung eines FET

- Steuerung über anliegende Spannung
- Ladungsträgerdichte und Halbleiterwiderstand ändern sich mit Kanalquerschnitt
- Widerstand bestimmt Stromfluss und somit Verstärkung
- für Dämpfungsschaltungen ist auch die Arbeit mit Wechselspannungen möglich

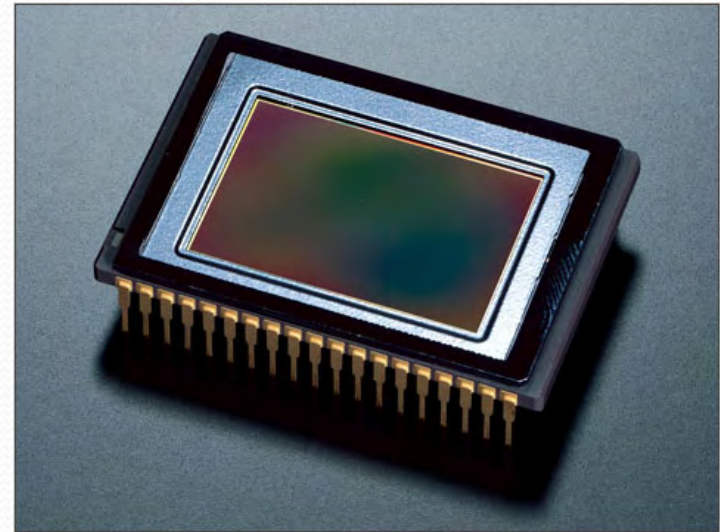


Abb. 14

# Sperrschicht-FET (JFET)

- pn-Übergang in Sperrrichtung
- Breite der sperrenden Schicht über Steuerspannung beeinflusst
- => steuert Kanal zwischen Drain und Source
- Steuerung auch über pn-Übergang in Durchlassrichtung möglich

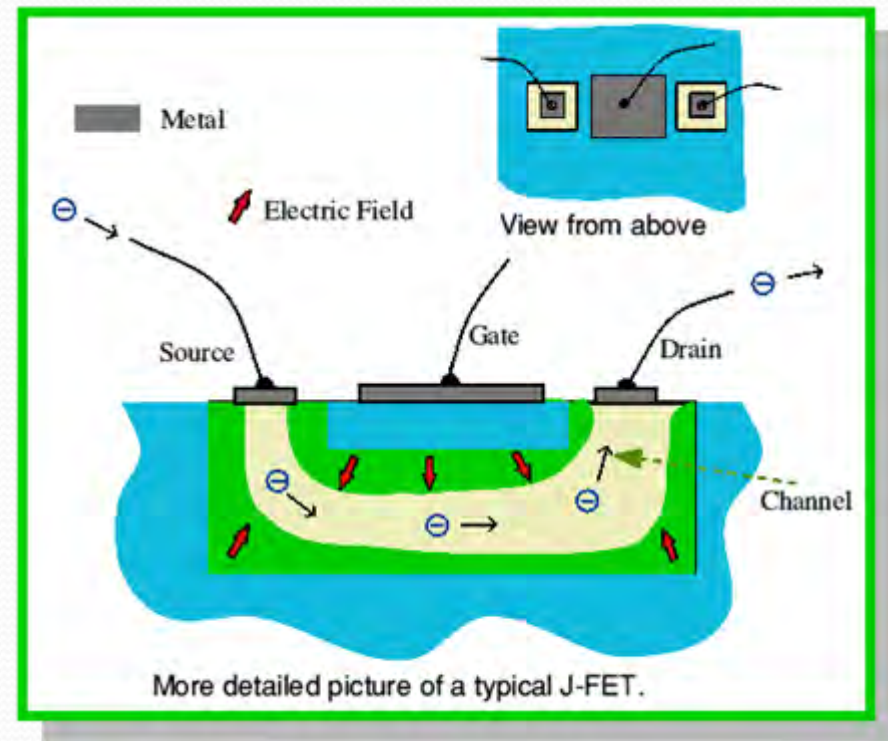


Abb. 15

# MOSFET

- MOS = Metal Oxide Semiconductor
- Gate von Kanal durch Substrat abgegrenzt
- Ladungsträgerdichte in der Inversionsschicht (leitfähiger Kanal) wird beeinflusst
- ohne invertierende Schicht kein Stromfluss möglich

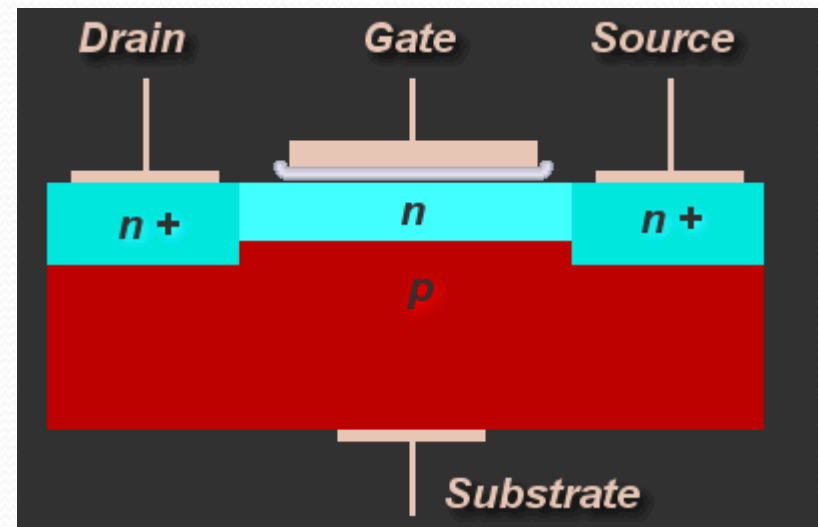


Abb. 16

# n- und p-Kanal

- theoretisch haben FETs symmetrischen Aufbau (Vertauschung von Drain und Source möglich)
- insgesamt sechs mögliche Bauweisen von JFETs und MOSFETs
- Unterschied selbstleitend / selbstsperrend durch Dotierung des Kanals
- bei selbstleitender Variante fließt bei  $U_{GS} = 0$  noch ein Drainstrom
- weitere Steuerwirkung über Substrat gegeben

# n-Kanal JFET

- n-dotierter Bereich von p-dotierten Zone umschlossen
- Drain und Source an n-Schicht angeschlossen (n-Kanal)
- Gate-Anschluss zur Steuerung an p-Kanal
- offenes Gate => ohmscher Widerstand
- Gate mit Source verbunden => Strom steigt bis zur maximalen Einschnürung ( $U_p$ ) / Arbeitsbereich
- Wert von  $U_p$  ist abhängig von Dotierung und Breite des Kanals

# p/n MOSFET (NMOS / PMOS)

- Bei NMOS-Schaltungen wird nur Transistor als aktives Schaltelement verwendet
- Gatter verbindet Drain-Anschluss mit Versorgungsspannung
- => einfache Fertigung
- PMOS beruht auf Bewegung von Löchern
- => geringere Beweglichkeit bzw. langsamer als NMOS



Abb. 17

# Kennlinien

- Zusammenhang zwischen Strömen und Spannungen eines Transistors für den Fall statischer Größen
- Ausgangskennlinienfeld zeigt Abhängigkeit von Drainstrom und Drain-Source Spannung
- für alle n-Kanal FETs prinzipiell gleich
- Unterscheidung linearer und Abschnürbereich

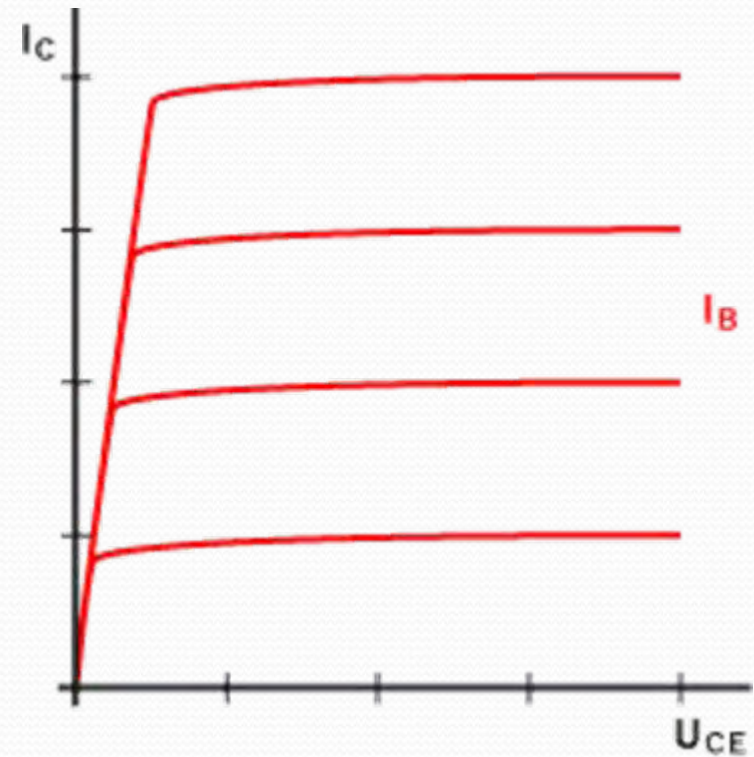


Abb. 18

# Kennlinien

- Übertragungskennlinienfeld zeigt Drainstrom für zum Absperrbereich gehörende Werte von der Drain-Source-Spannung in Abhängigkeit der Gate-Source-Spannung an
- identischer Verlauf bei selbstleitenden MOSFETs, selbstsperrenden MOSFETs und JFETs
- verschiedene Linien liegen sehr dicht beieinander

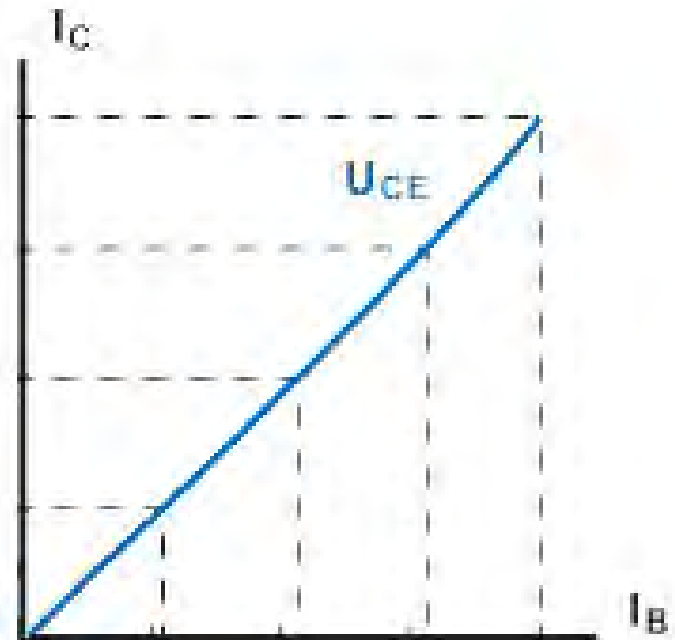


Abb. 19

# Kennlinien

- Eingangskennlinie
- Gatestrom über Gate-Source Spannung
- FET fließt im normalen Betrieb kein oder nur sehr kleiner Gatestrom
- bei MOSFET nur bei Durchbruch des Oxids (Zerstörung)
- Eingangskennlinienfeld zeigt Kennlinie der intern vorgeschalteten Diode zum Schutz gegen Überspannungen

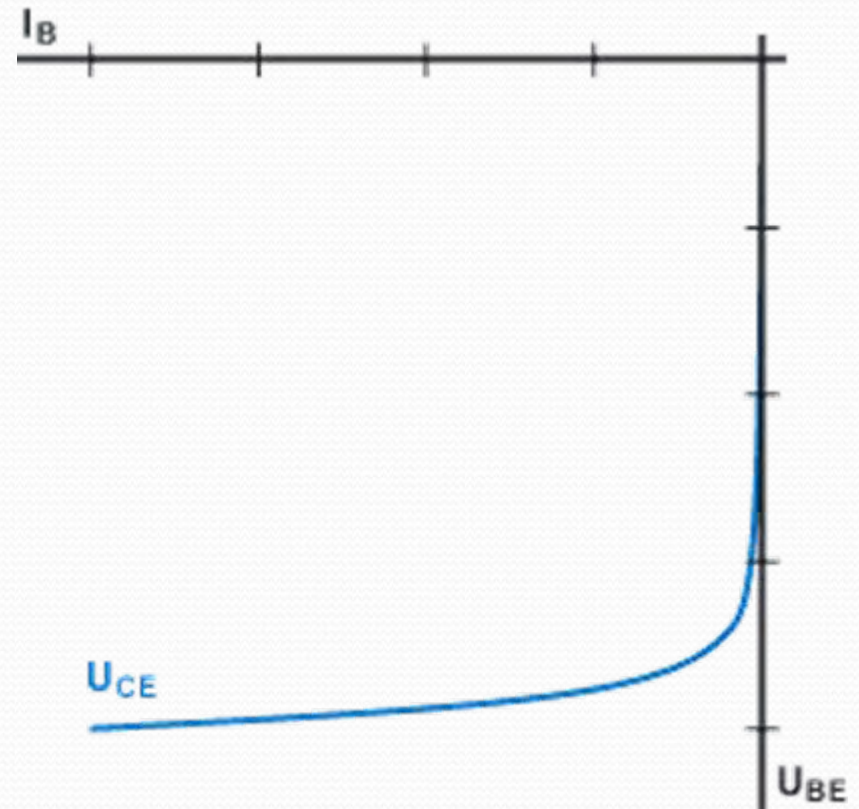


Abb. 20

# Vierquadrantenkennlinienfeld

- gemeinsame Anbringung aller vier Kennlinienfelder
- alle wichtigen Transistor-Parameter können aus einer einzigen Abbildung herausgelesen werden

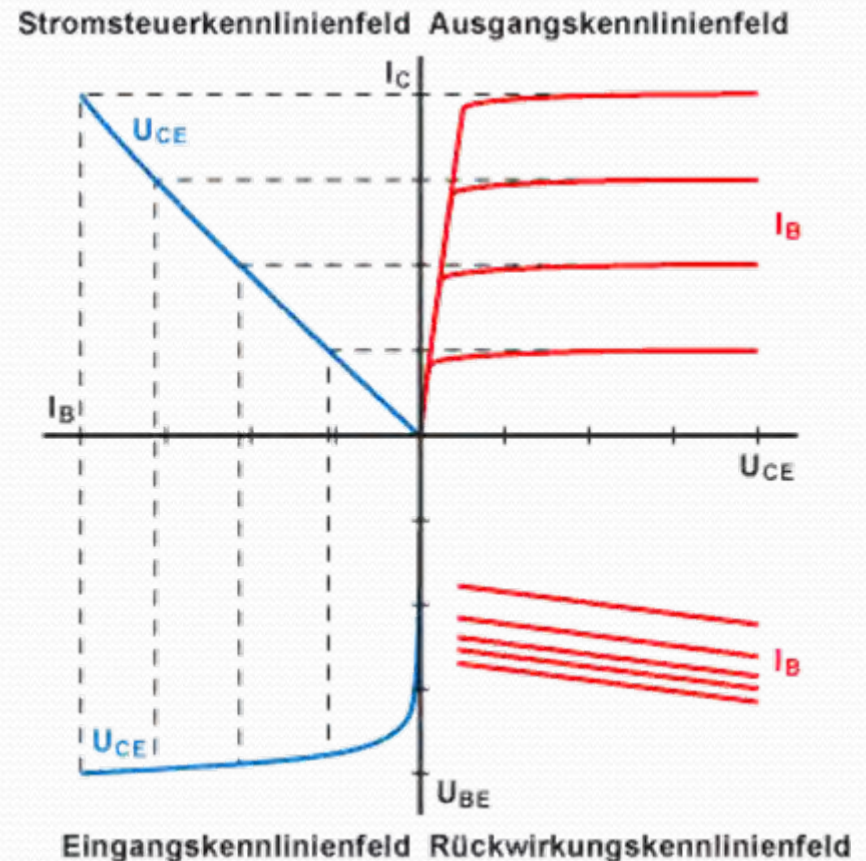


Abb. 21

# Quellen

- Tietze, Schenk: Halbleiterschaltungstechnik, 12. Auflage, Springer-Verlag
- <http://lamp.tu-graz.ac.at/~hadley/ss1/lectures07/lectures07.php>
- [http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/physikalischeelektronik/phys\\_elektr](http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/physikalischeelektronik/phys_elektr)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/>
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/1101211.htm>

# Bildquellen

- Abb. 1: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Diode\\_Schaltzeichen.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Diode_Schaltzeichen.svg); Besitzer: Crownmaster; Public Domain
- Abb. 2: [http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/physikalischeelektronik/phys\\_elektr/node91.html](http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/physikalischeelektronik/phys_elektr/node91.html); Copyright by Othmar Marti and Alfred Plettl
- Abb. 3: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/1/10/Diodenaltz.png>; Besitzer: Peter Frankfurt
- Abb. 4: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Kennlinie\\_Phodiode\\_1.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Kennlinie_Phodiode_1.png) ; GNU Free Documentation License
- Abb. 5: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/Photodiode.jpg>; GNU Free Documentation License
- Abb. 6: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/of/Bandmodellkrp.png>; Besitzer: Anton; GNU Free Documentation License
- Abb. 7: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Ledmrp.jpg>; Besitzer: Anton; GNU Free Documentation License
- Abb. 8: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Uv-LED.jpg>; Besitzer: C. Pemat
- Abb. 9: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Bipolartransistor-pnp.PNG>; Besitzer: Honia; GNU Free Documentation License
- Abb. 10: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/1/18/Bipolartransistor.PNG>; Besitzer: Honia; GNU Free Documentation License
- Abb. 11: <http://lamp.tu-graz.ac.at/~hadley/ssi/lectures07/10deco7/slide7.html>; Besitzer: Peter Hadley
- Abb. 12: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Transbauformen.jpg>; Besitzer: Ulfbastel; GNU Free Documentation License
- Abb. 13: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/20/Scheme\\_of\\_n-metal\\_oxide\\_semiconductor\\_field-effect\\_transistor\\_with\\_channel\\_de.svg/625px-Scheme\\_of\\_n-metal\\_oxide\\_semiconductor\\_field-effect\\_transistor\\_with\\_channel\\_de.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/20/Scheme_of_n-metal_oxide_semiconductor_field-effect_transistor_with_channel_de.svg/625px-Scheme_of_n-metal_oxide_semiconductor_field-effect_transistor_with_channel_de.svg.png)
- Abb. 14: <http://a.img-dpreview.com/articles/NikonD2HS/Images/sensor.jpg>
- Abb. 15: [http://www.st-andrews.ac.uk/~www\\_pa/Scots\\_Guide/info/comp/active/jfet/jfet2.gif](http://www.st-andrews.ac.uk/~www_pa/Scots_Guide/info/comp/active/jfet/jfet2.gif)
- Abb. 16: <http://www.radartutorial.eu/21.semiconductors/pic/mosfet2.gif>
- Abb. 17: [http://www.extremeelectronics.co.uk/pictures/gallery/kirlian\\_mosfet.jpg](http://www.extremeelectronics.co.uk/pictures/gallery/kirlian_mosfet.jpg)
- Abb. 18: <http://www.elektronik-kompndium.de/sites/bau/diagramm/02031113.gif>
- Abb. 19: <http://www.elektronik-kompndium.de/sites/bau/diagramm/02031111.gif>
- Abb. 20: <http://www.elektronik-kompndium.de/sites/bau/diagramm/02031112.gif>
- Abb. 21: <http://www.elektronik-kompndium.de/sites/bau/diagramm/02031111.gif>