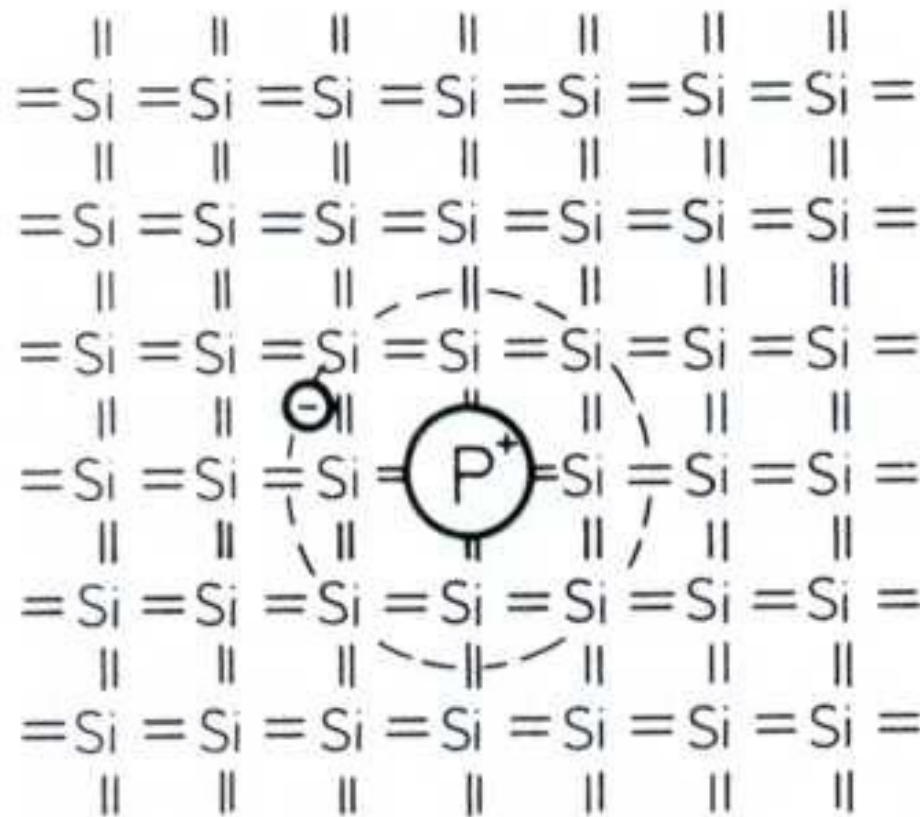
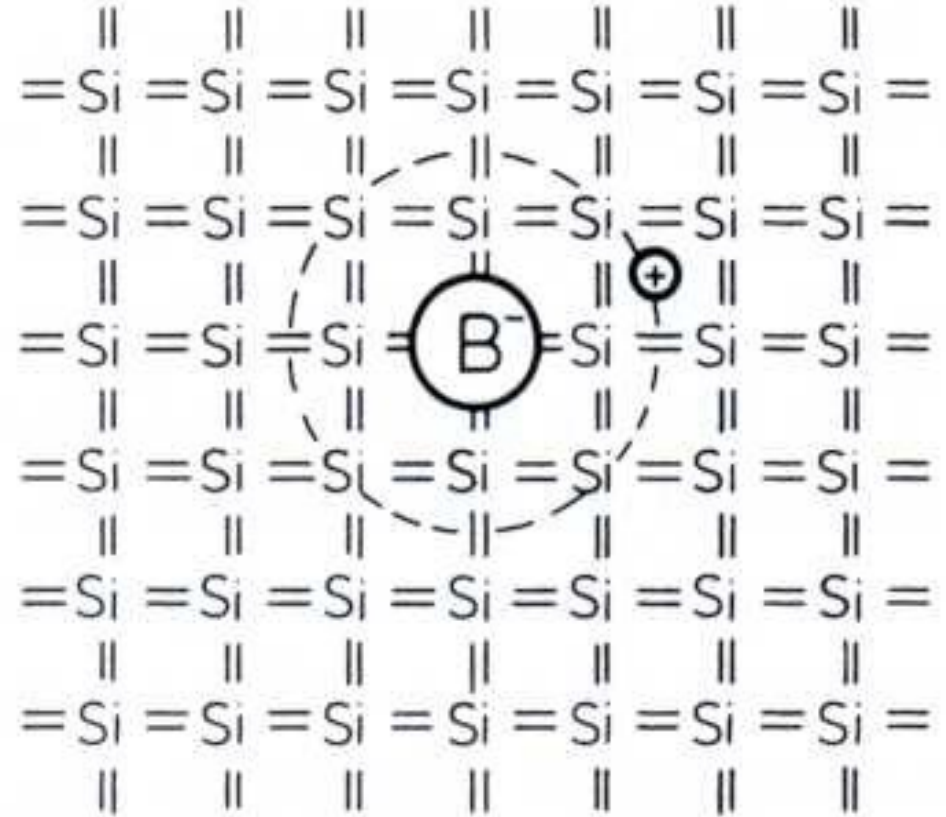


Schematische Darstellung des Effekts eines Donor- oder Akzeptoratoms im Siliziumgitter

das 5. Elektron ist fuer Bindung im Kristall nicht noetig und ist daher sehr schwach gebunden (grosser Radius)



a n-doped silicon



b p-doped silicon

Energieniveaus des Donors bzw. Akzeptors relativ zu Valenz- und Leitungsband des Wirts mit zugehörigen Ionisationsenergien E_d und E_a

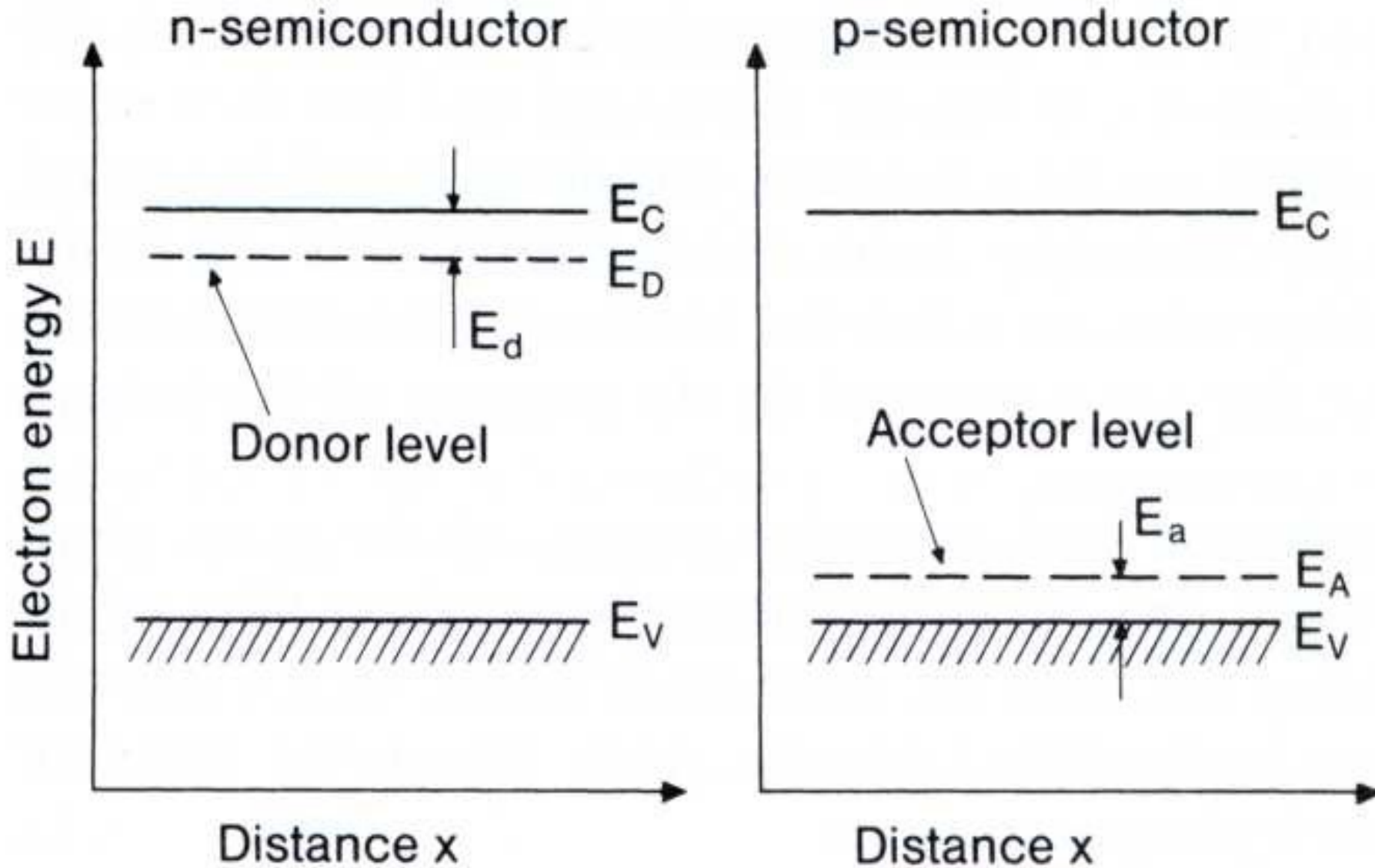
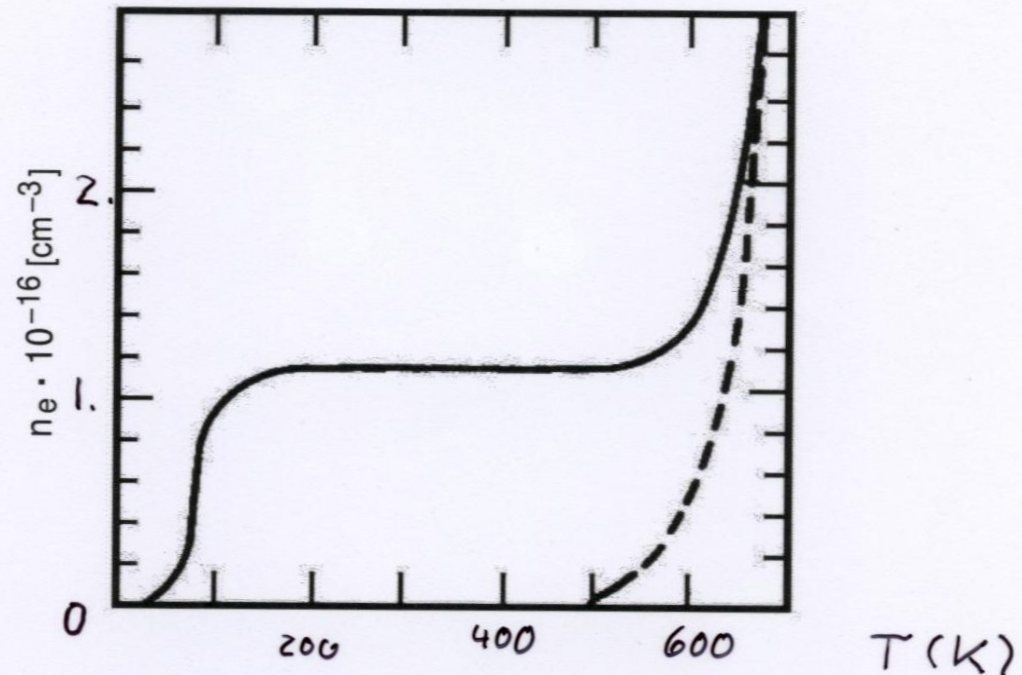


Fig. 5-6

Charakteristika dotierter Halbleiter

	E_G (eV) at $T = 0$ K	E_D (eV)		E_A (eV)		ϵ	Intrinsic carrier concentration (m^{-3}) at 300 K
		P	As	B	Al		
Si	1.08	0.045	0.049	0.045	0.057	11.7	2×10^{16}
Ge	0.66	0.012	0.013	0.010	0.010	15.8	2×10^{19}

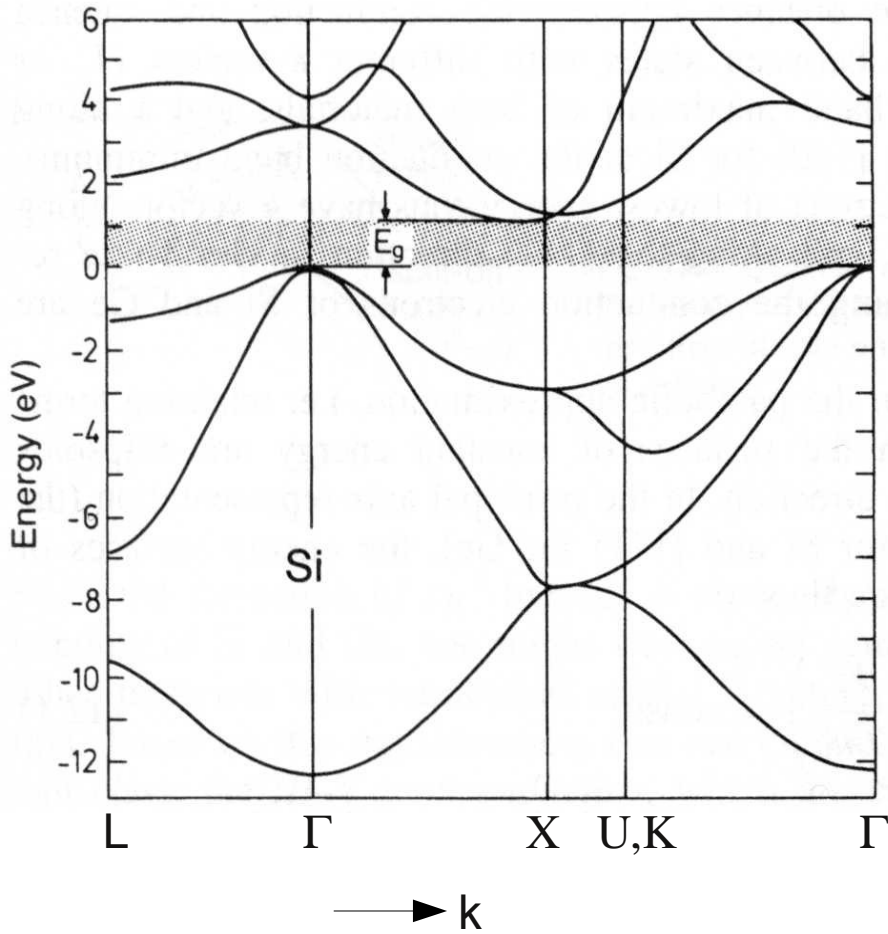
(Data from the *American Institute of Physics Handbook*, 3rd edn, McGraw-Hill, New York (1972))



Tab. 5-1

Elektronendichte in reinem Si (dashed) und in As dotiertem Si ($10^{16}/\text{cm}^3$)

berechnete Bandstruktur in Silizium und gemessenes Zyklotronresonanzsignal



$$m^* = \hbar^2 (d^2 E / dk^2)^{-1}$$

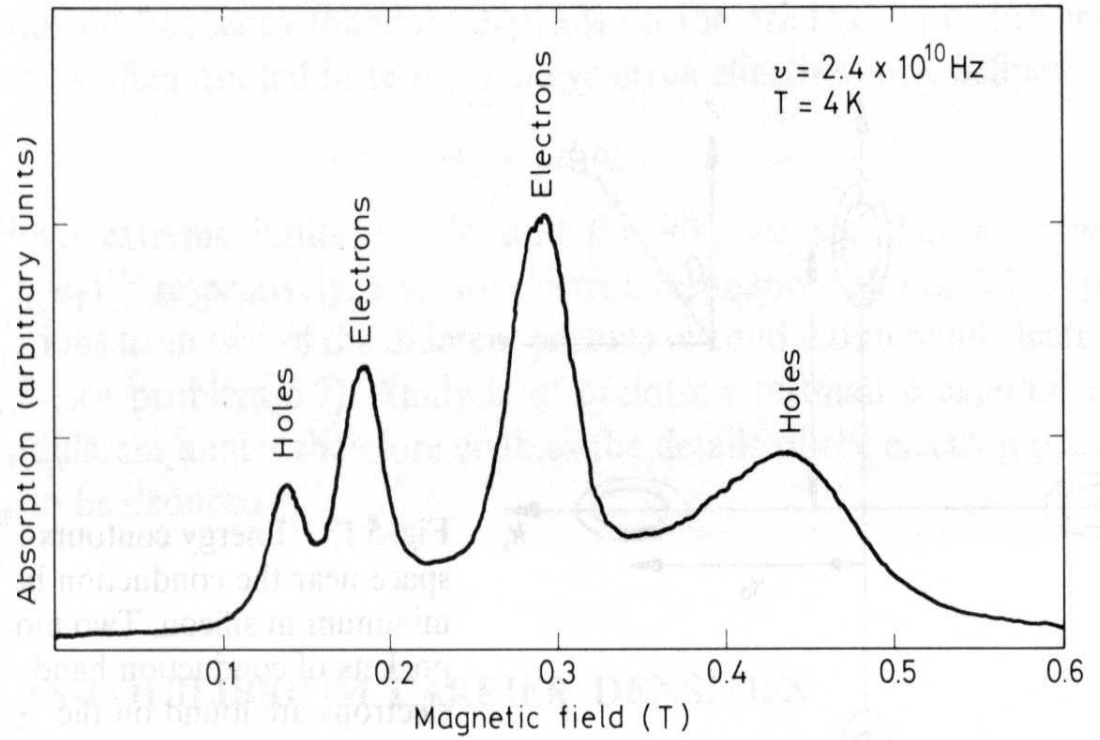


Fig. 5-8

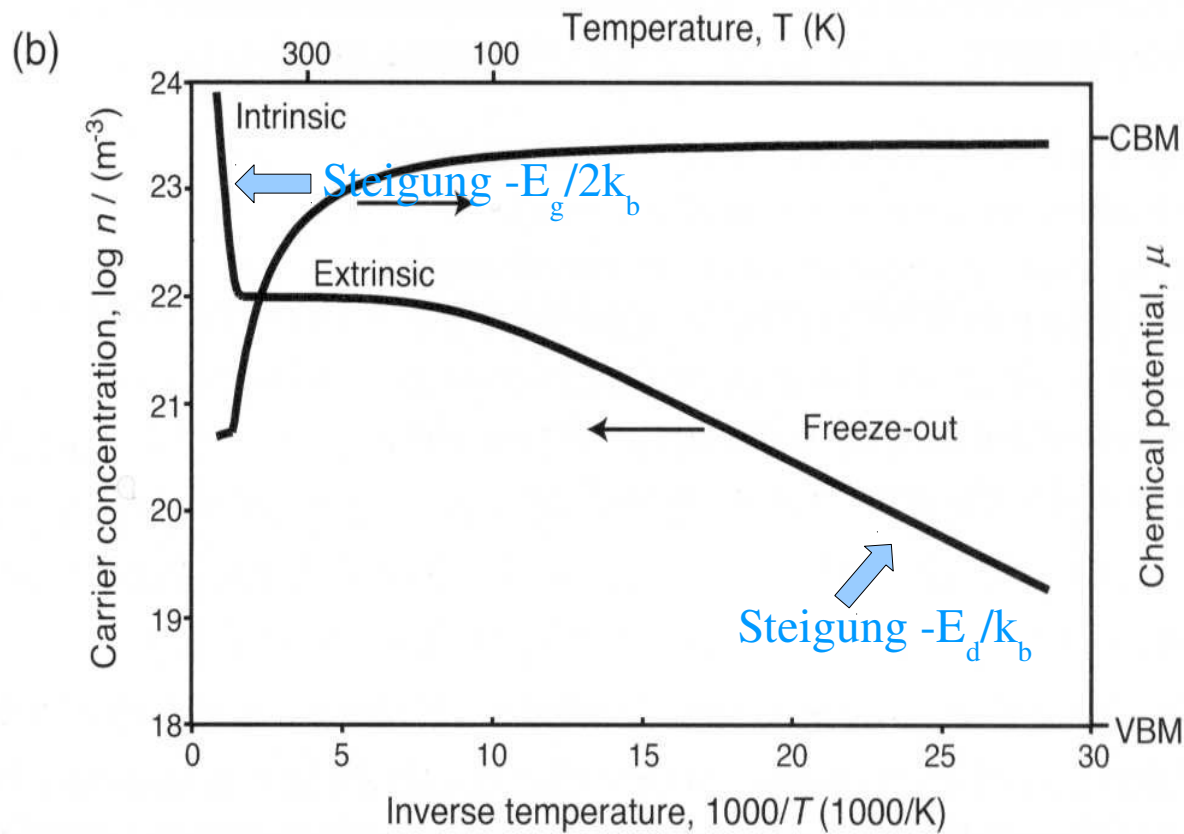
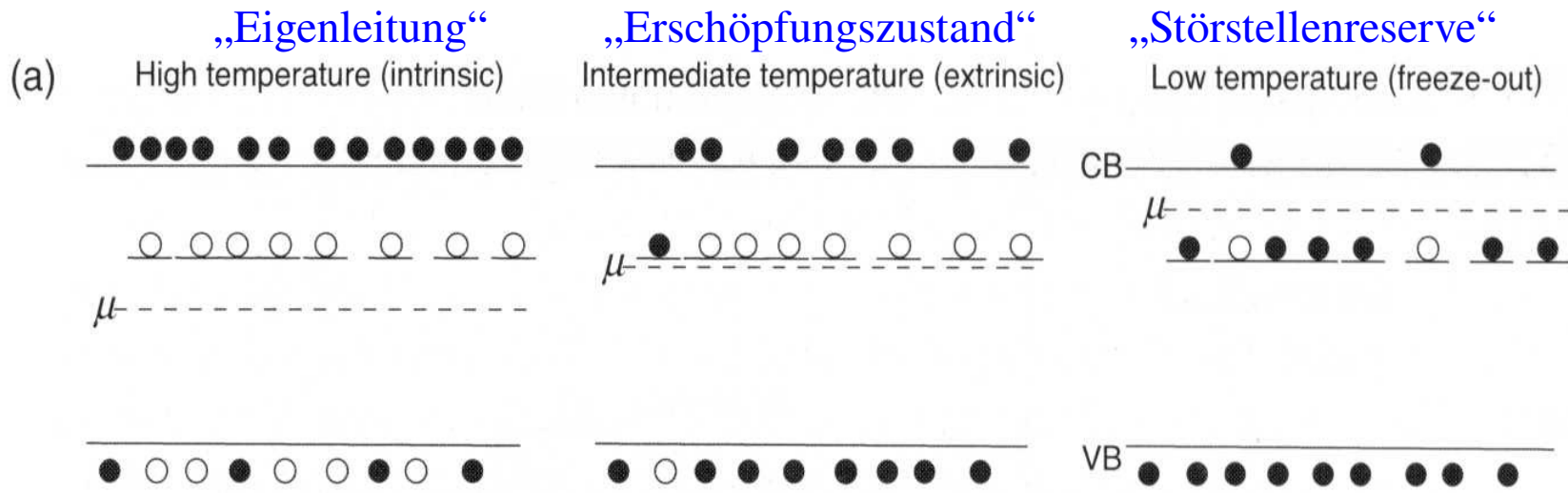


Fig. 5-9

Dichte von Ladungsträgern und elektrische Leitfähigkeit fuer n-dotiertes Ge

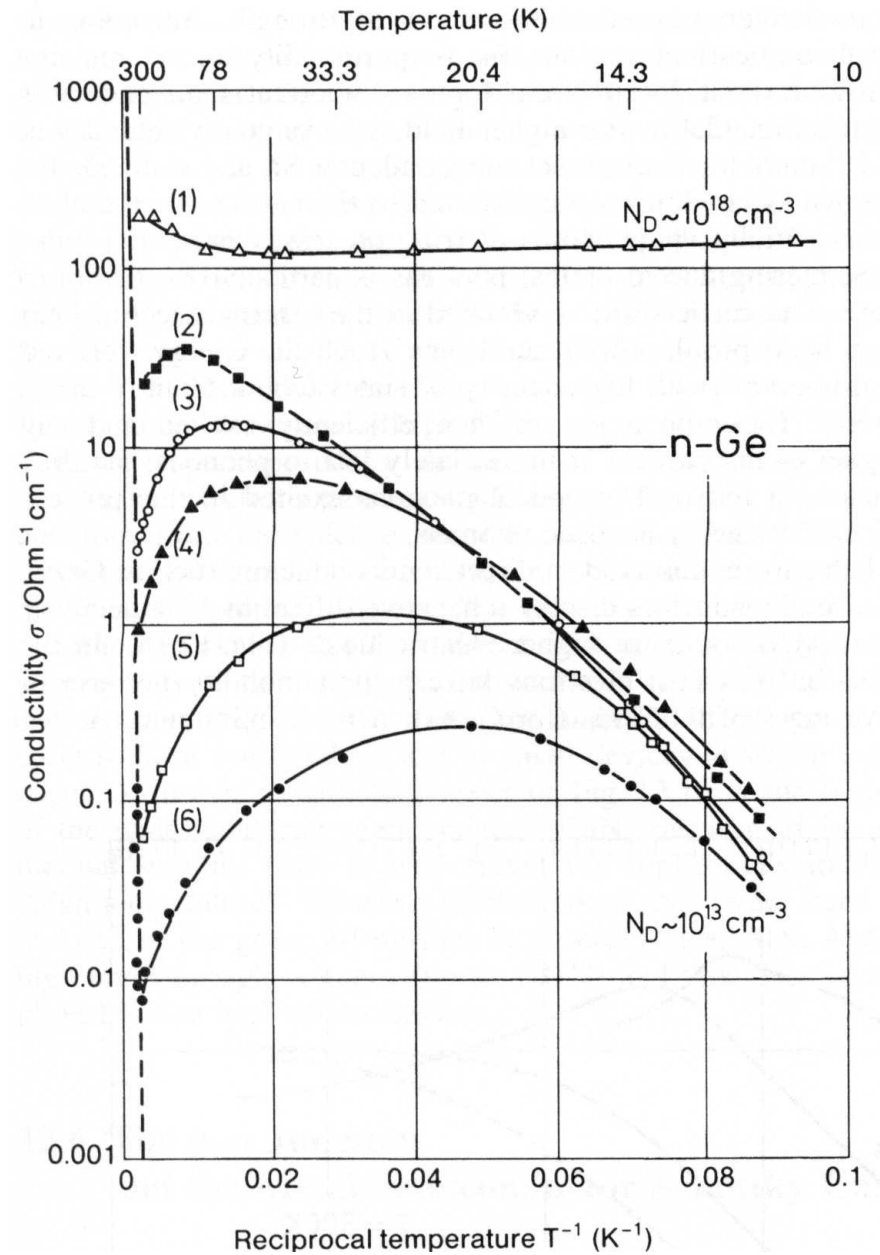
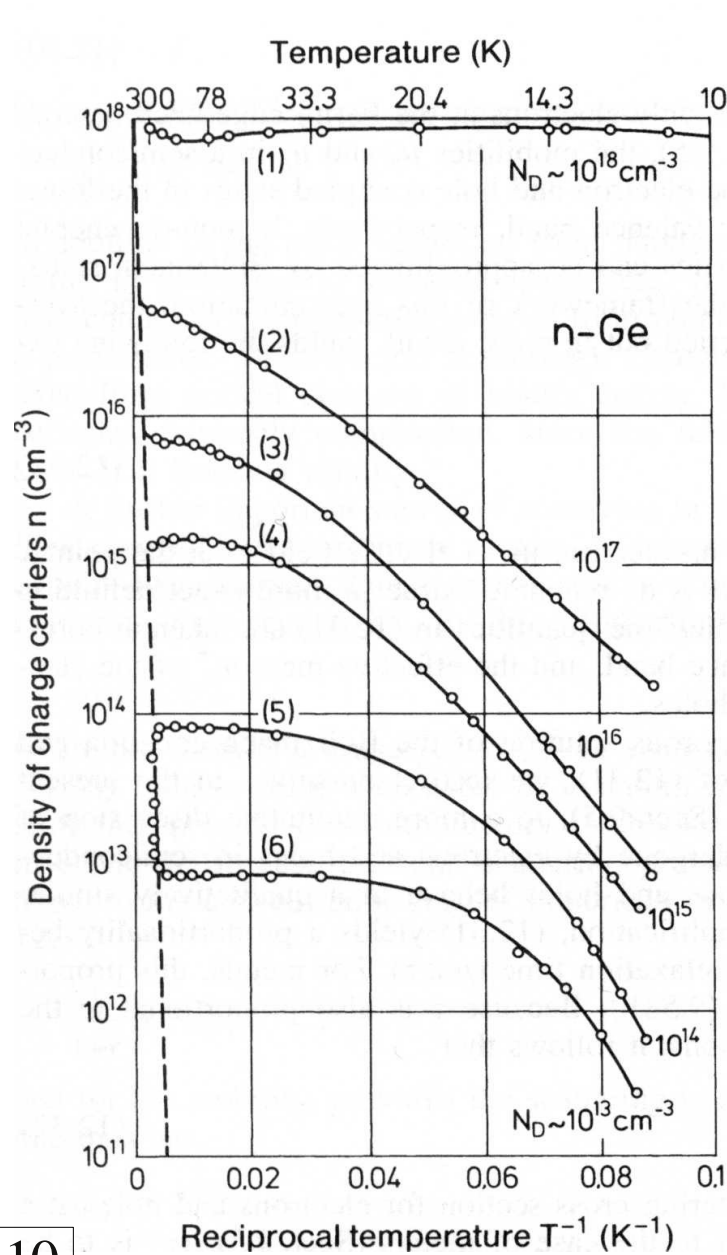


Fig. 5-10

sehr wichtig zur Herstellung von Halbleiter Bauelementen:

auf einem Substrat kann man sehr dünne ('epitaktische') Schichten von $< 1 \mu\text{m}$ Dicke aufwachsen lassen (reaktives Aufdampfen)

mit einer vom Substrat sehr unterschiedlichen Ladungsträgerdichte

z.B. Film mit sehr niedriger Ladungsträgerdichte (ρ gross)

auf Träger mit hoher Ladungsträgerdichte (ρ klein)

innerhalb von $1 \mu\text{m}$ kann sich Ladungsdichte um Faktor 10 – 100 ändern

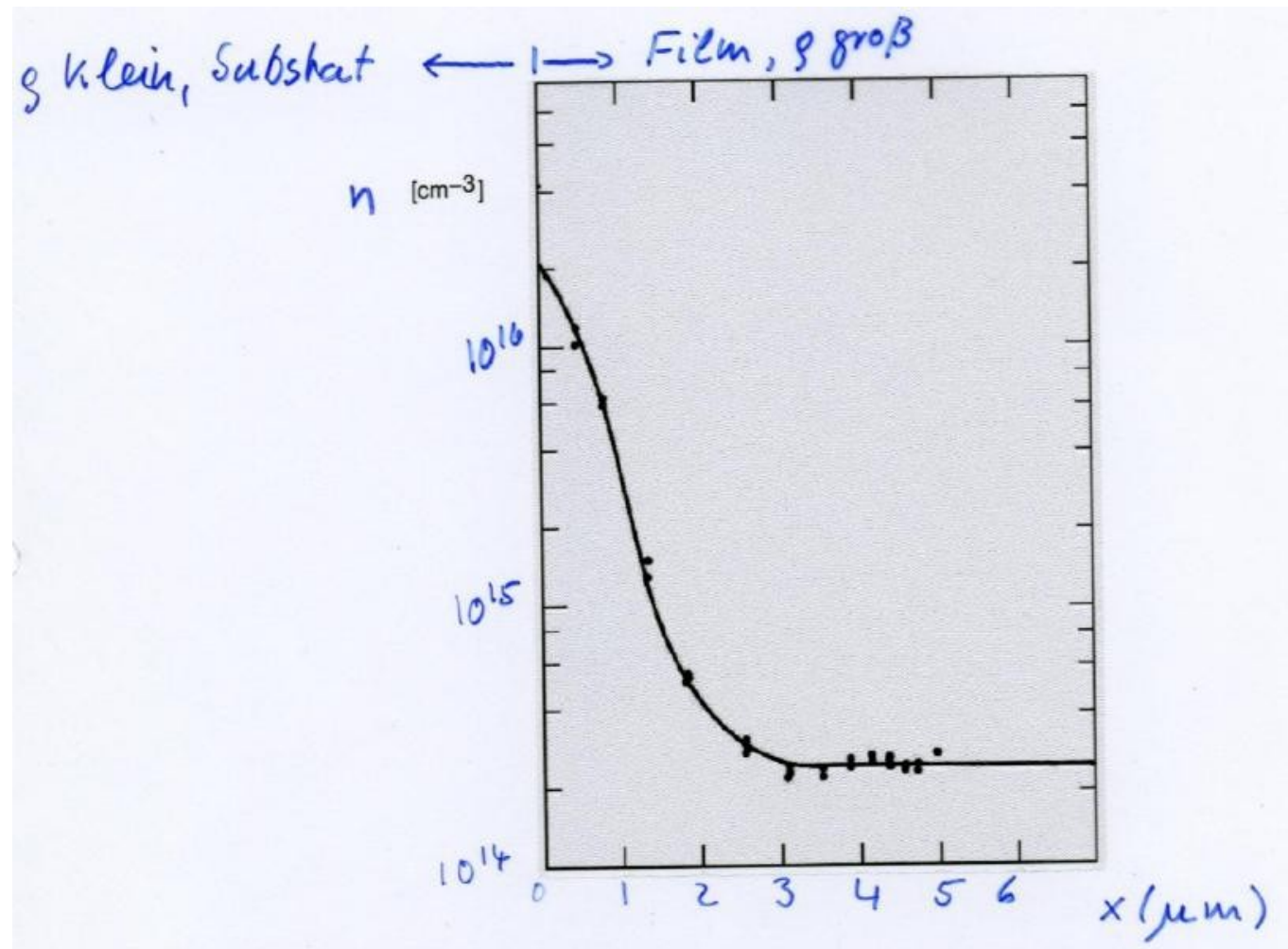
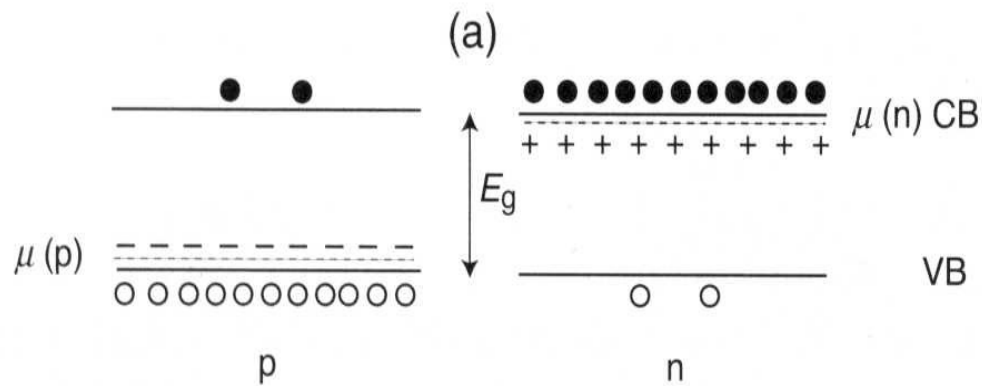


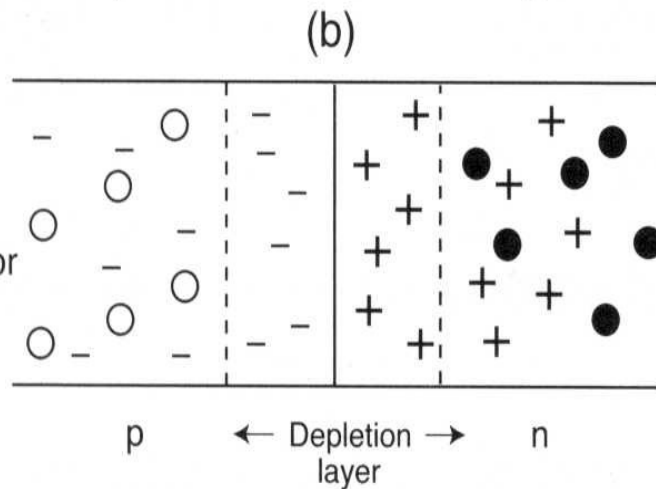
Fig. 5-11

p/n Übergang

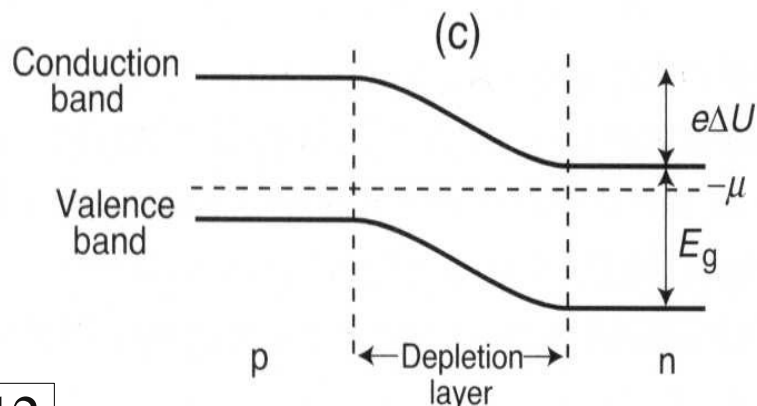


Energieniveaus der getrennten p und n Halbleiter
ionisierte Donatoren (+) und Akzeptoren (-)

- Free hole
- Free electron
- + Ionized donor
- Charged acceptor



Ausbilden einer Verarmungszone wenn Kontakt hergestellt wird



Angleichen des chemischen Potentials -> Verbiegung der Bänder in der Verarmungszone

Fig. 5-12

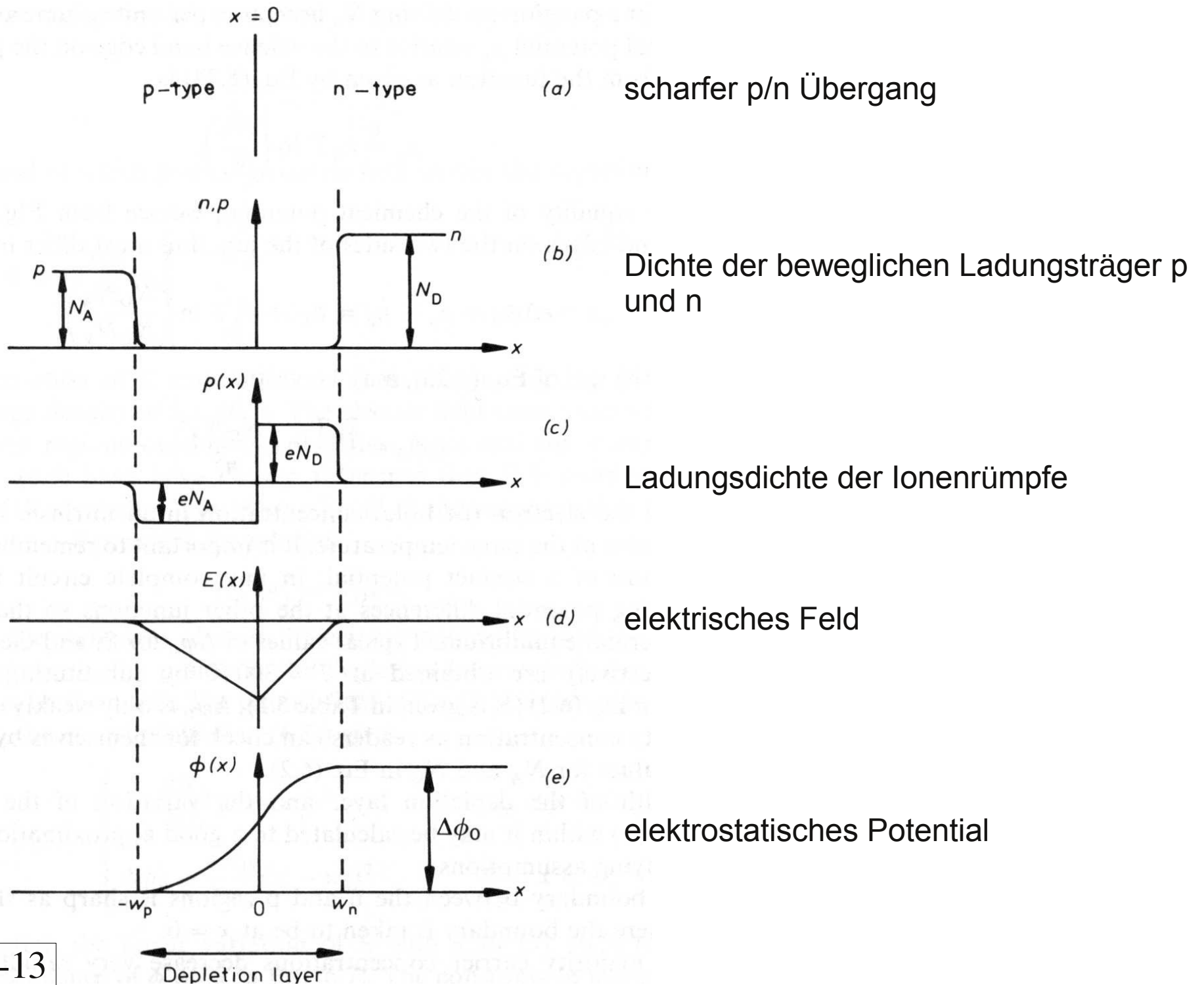
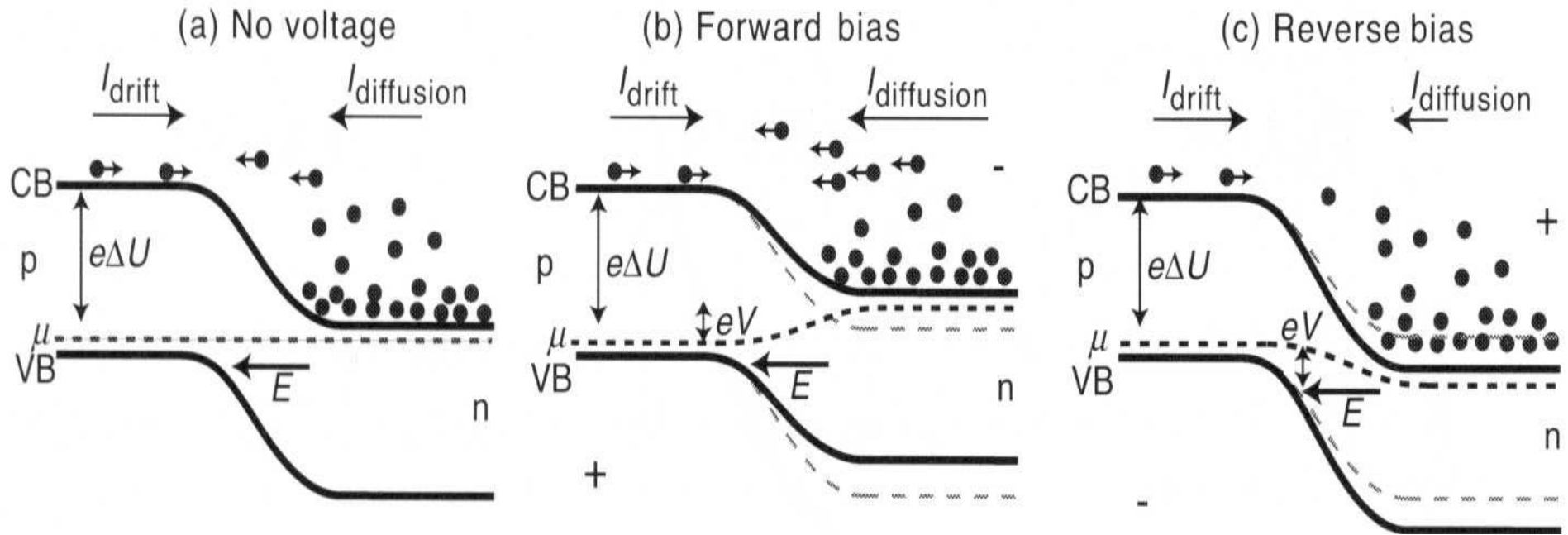


Fig. 5-13

p/n Übergang als Diode: Durchlassrichtung

Sperrrichtung



Kennlinie

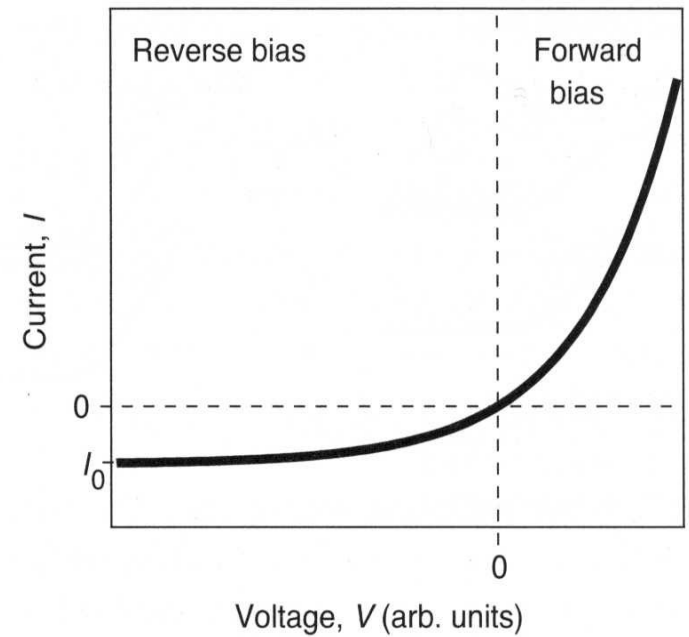
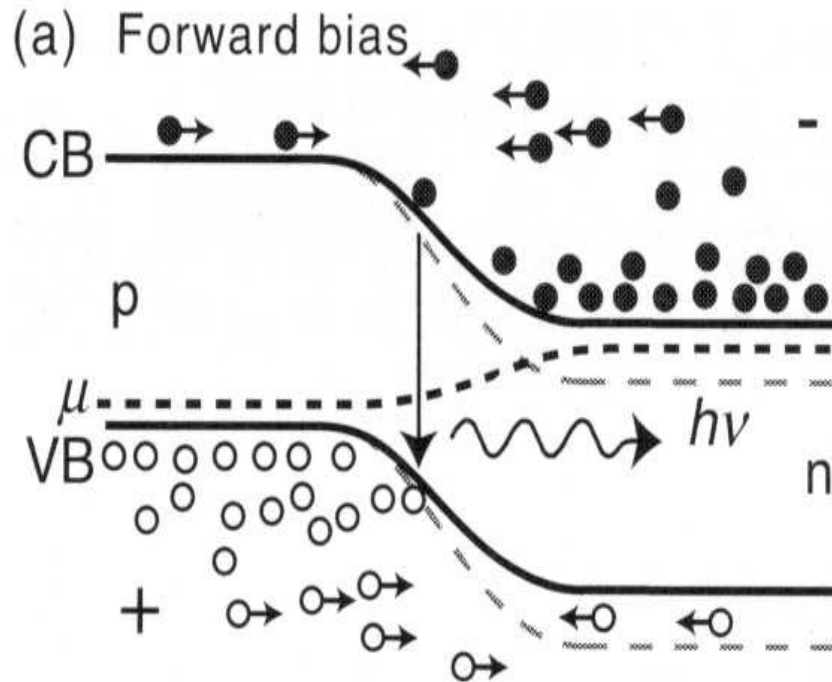
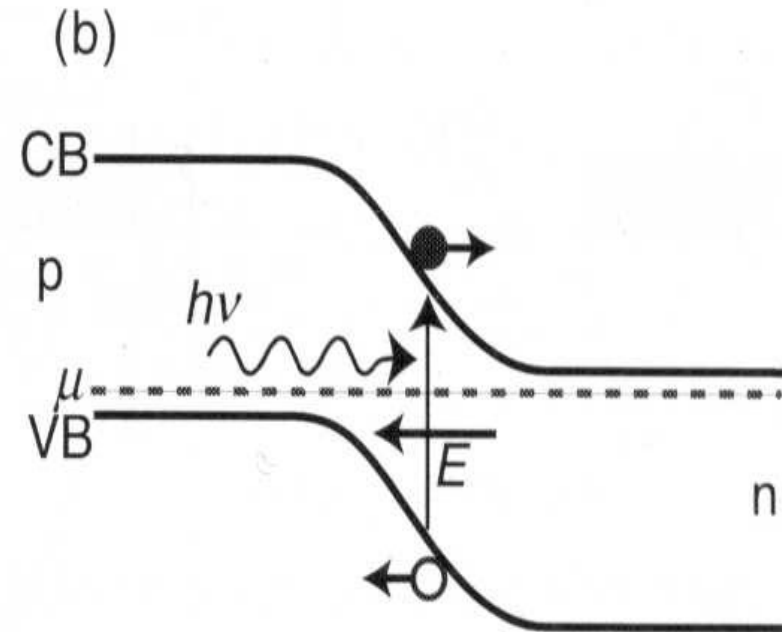


Fig. 5-14

Optoelektronische Bauelemente basierend auf p/n Diode:



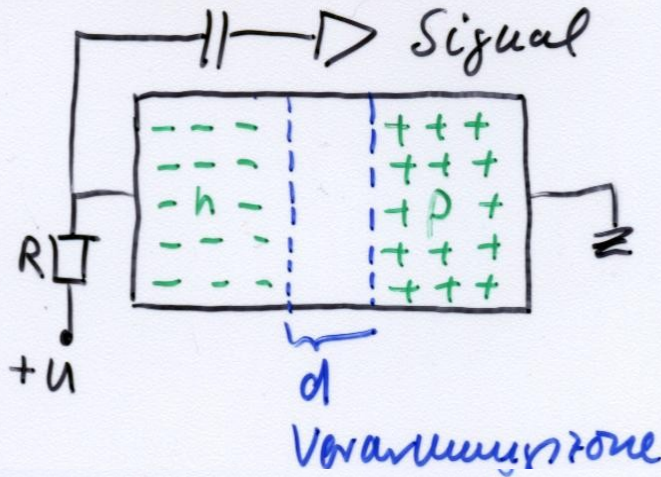
LED
 direkte Rekombination von Elektron
 und Loch (in direktem Halbleiter)
 -> Photonemission
 bei Populationsinversion LASER



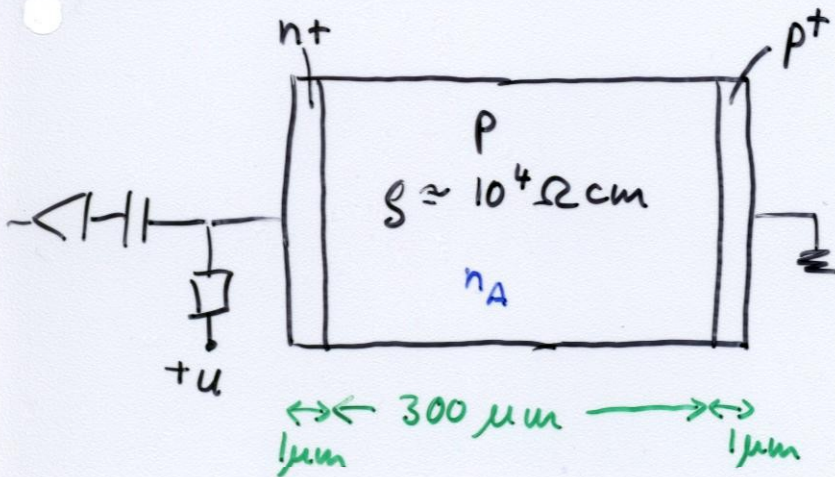
Photodetektor oder Solarzelle
 Photon kreiert Elektron-Lochpaar in
 Verarmungszone -> Strom wegen
 E-Feld, induziert Spannungssignal

Fig. 5-15

p-n Halbleiterschalter



+++ : 'freie Ladungsträger'



p^+, n^+ : sehr hoch dotiert, gut leitend

$$d_p + d_n \approx d_p \approx \sqrt{\frac{2 \epsilon \epsilon_0}{e} \frac{U}{n_A}}$$

since $n_A \ll n_D, V_0 \ll U$

mit $n_A \approx 10^{15} / \text{cm}^3$

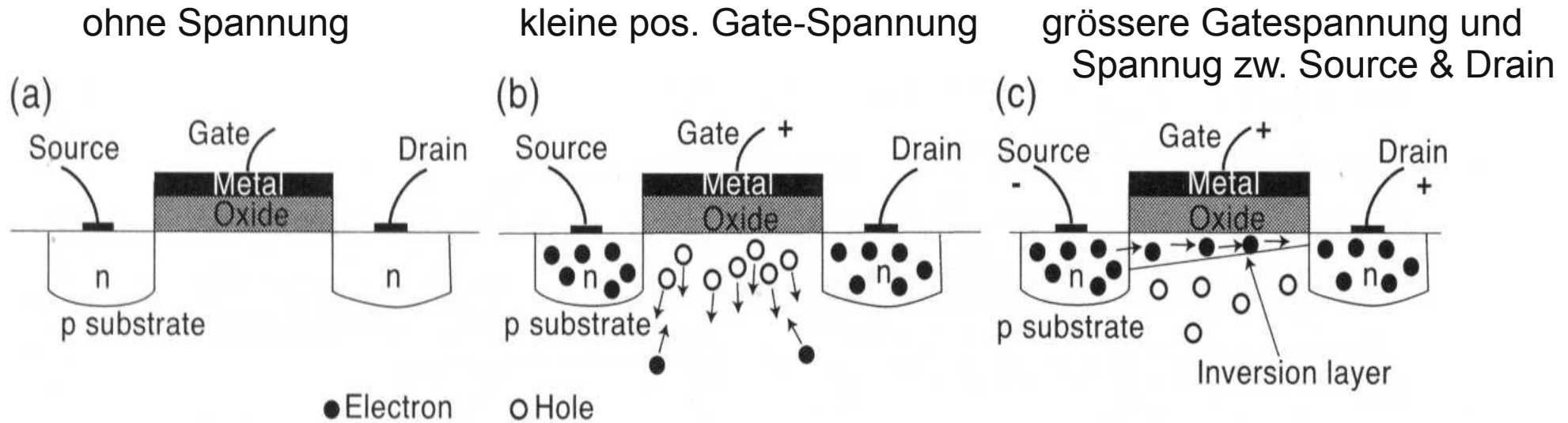
$$U = \frac{e}{2 \epsilon \epsilon_0} n_A d_p^2 \approx 100 \text{ V}$$

$$|E| = \frac{100 \text{ V}}{300 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

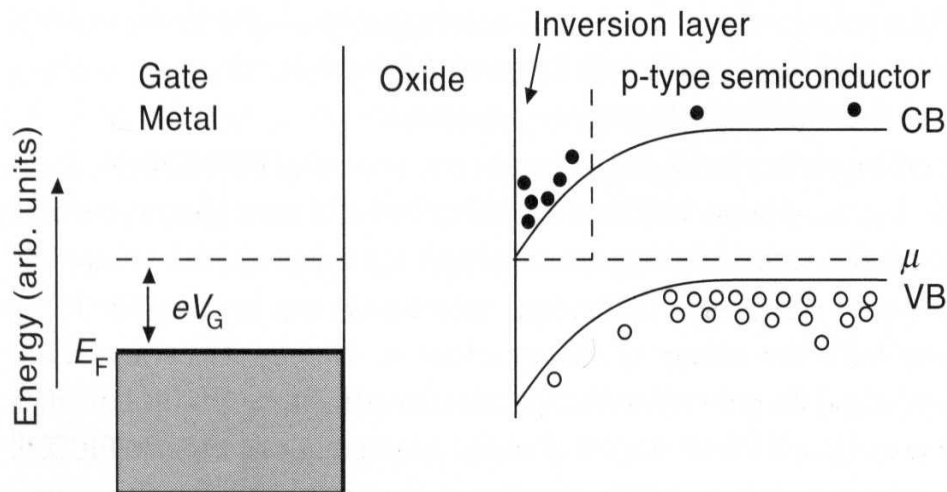
(sicher, Durchschlage bei 10^7 V/m)

Fig. 5-15a

MOSFET Transistor (MetalloOxyd - Silizium)



**so funktioniert auch eine CCD (digitale Kamera)
MOS als Kapazität, dann Auslese via Schalten**



Ausbilden einer Inversionsschicht wenn positive Gatespannung gross genug wird:
Bänder verbiegen sich und Elektronen werden im p-Halbleiter vom Minoritäts- zum Majoritätsladungsträger

Fig. 5-16

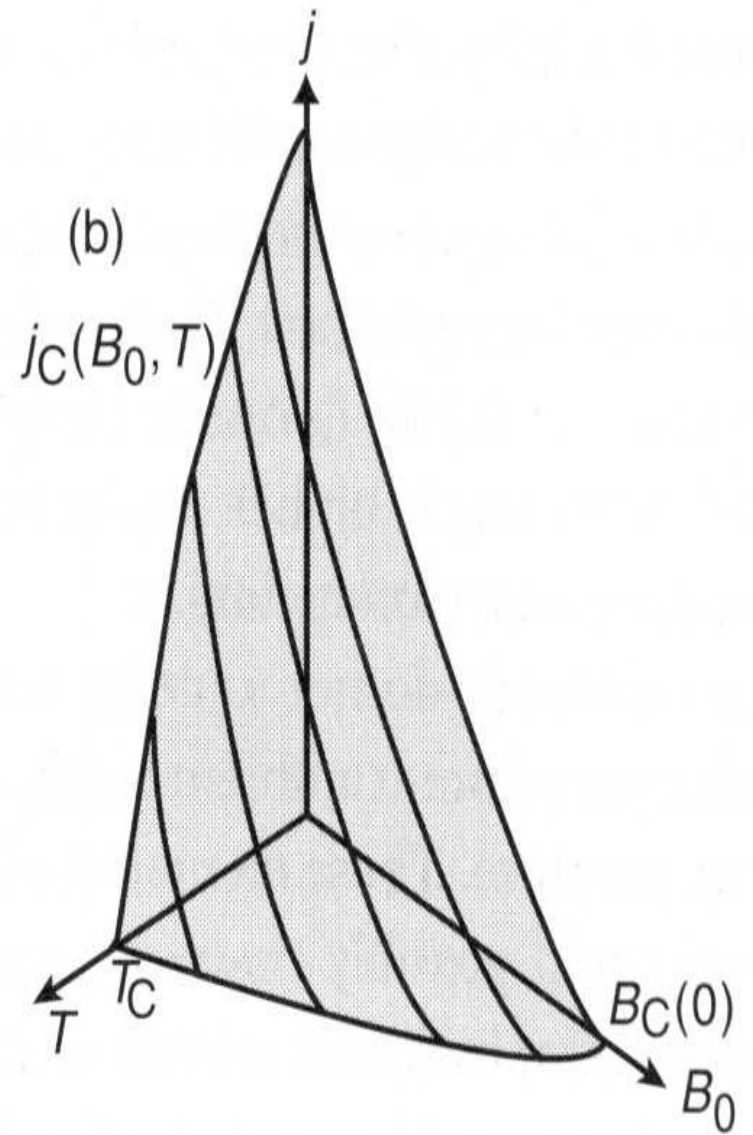
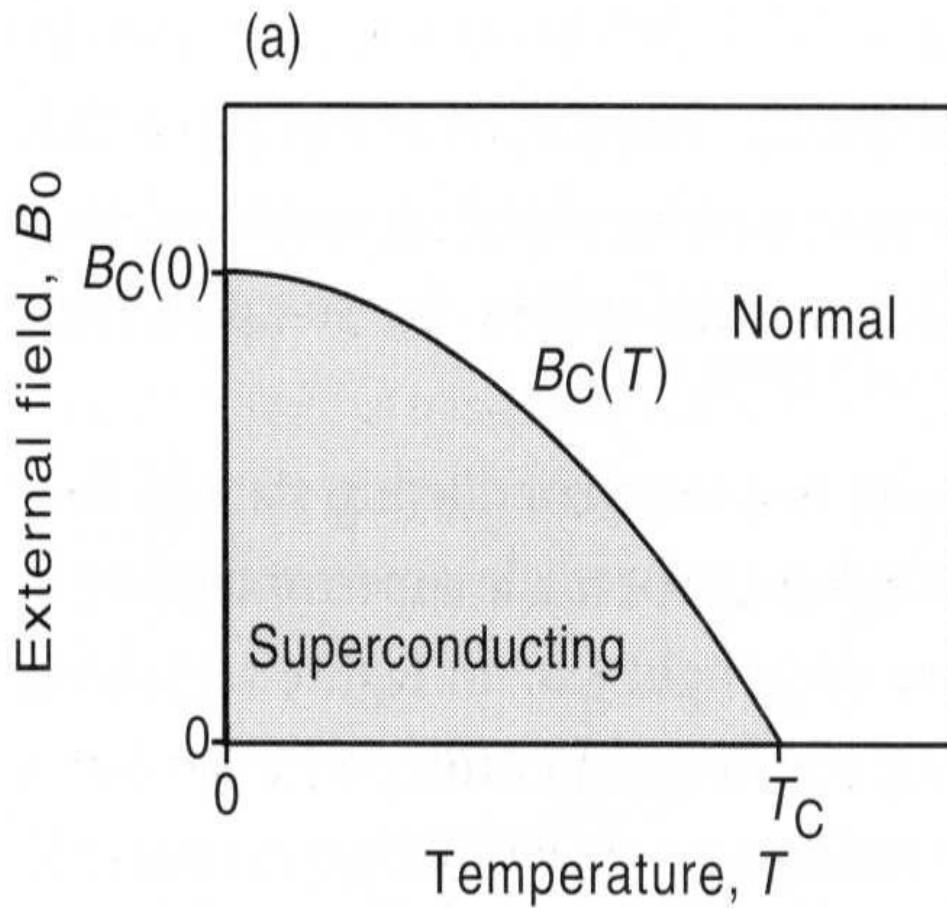


Fig. 6-2

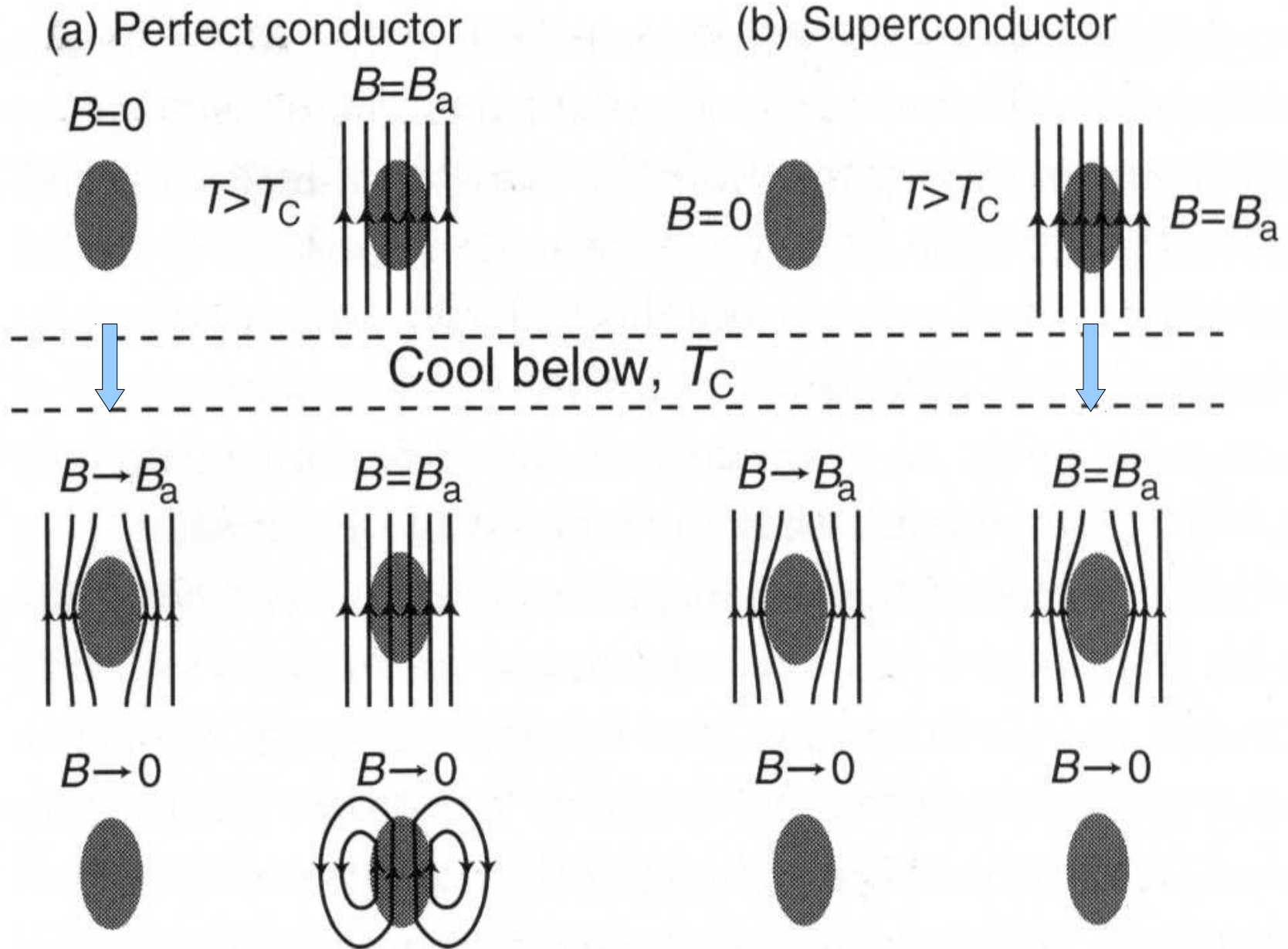
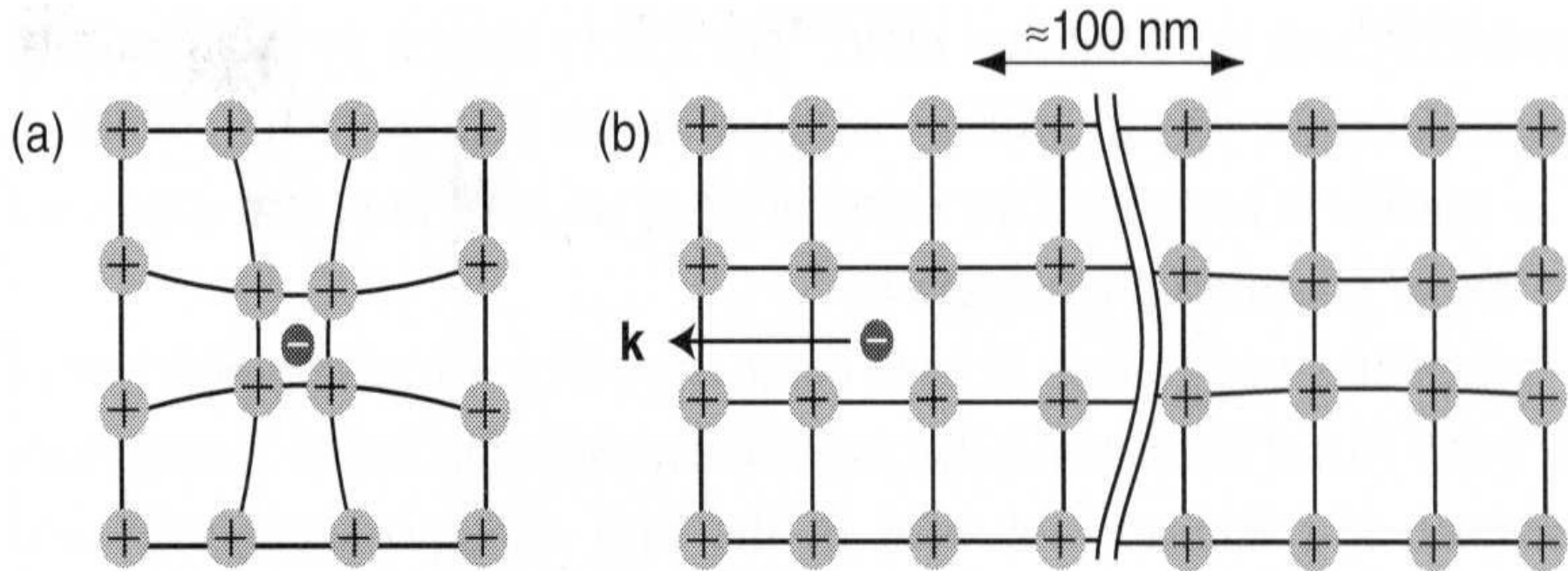
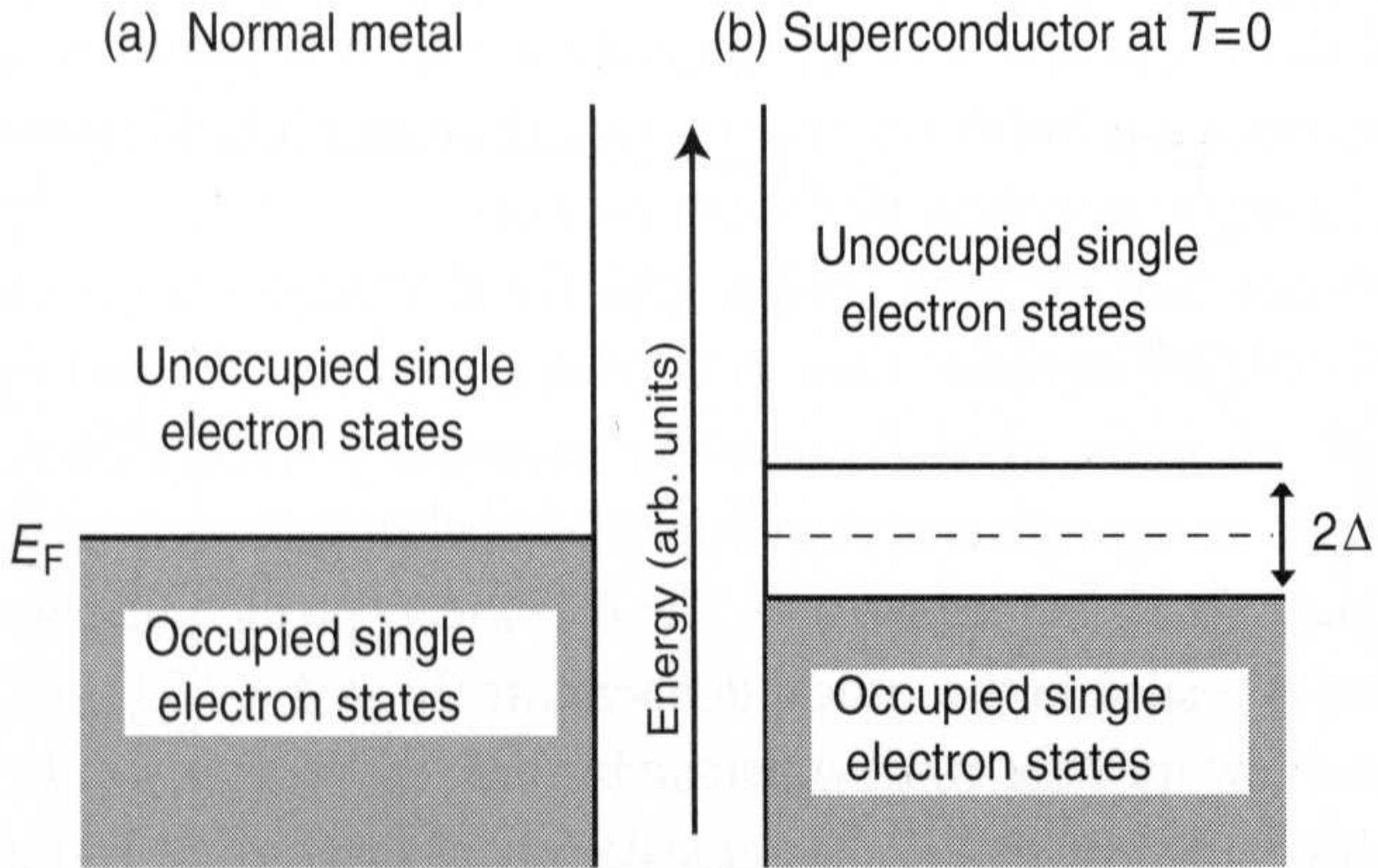


Fig. 6-3



lokale Gitterdeformation durch elektrostatische WW mit Elektron
 kann als Phononwellenpaket betrachtet werden, das ca. 100 nm hinter Elektron
 herläuft (Trägheit Gitter)
 zieht durch höhere positive Ladungsdichte ein anderes Elektron in der Nähe
 stärker an -> **effektiv eine attraktive Elektron-Elektron WW über Kopplung ans
 Gitter / Phononen -> Ausbildung eines „Cooper-Paars“**

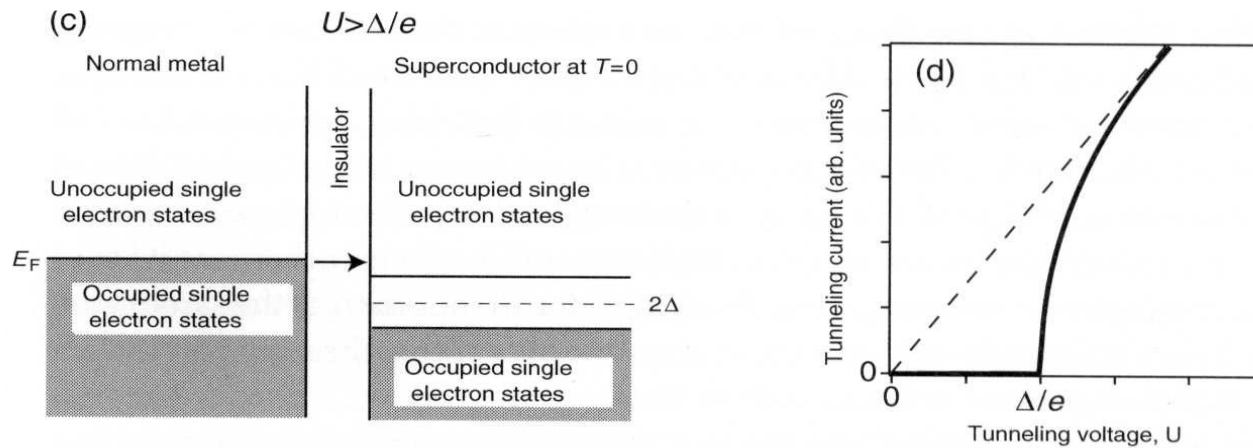
Fig. 6-4



Bildung von Cooperpaaren führt zu Ausbildung von Bandlücke (Gap) bei $T=0$, $\Delta = 3.53k_B T_C$ und fällt auf 0 für $T=T_c$

Fig. 6-5

Messung des Gaps: durch Einsetzen von Tunnelstrom ab einer bestimmten Spannung



oder Quantisierung des
magnetischen Flusses

$$\Phi_B = n \frac{h}{2e}$$

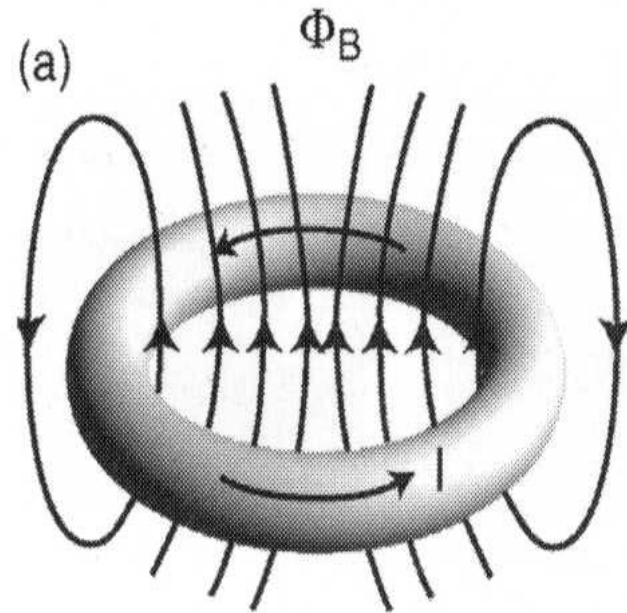


Fig. 6-6

Klausur:

Mittwoch 2. Februar, 9:00 – 11:00

Inhalt: Stoff der Vorlesungen Module 1 und 2

Total 12 Aufgaben, 7 aus Modul 1 und 5 aus Modul 12

Gruppen 1-3: Gr. HS Physikalisches Institut

Gruppen 4-9: HS1, KIP, INF227

Mitbringen: Papier, Taschenrechner, 1 DINA4 Blatt mit Notizen (noetige Konstanten etc. werden angegeben), Ausweis

SS 2011 wie geht's weiter fuer alle an Teilchenphysik interessierten Studenten:

- Vorlesung „Particle Physics“ mit Uebungen (jetzt oder im Master ein „muss“)
(Schoening, Di/Do 14-16, Uwer Do 16-18)
- Vorlesung „Detectors in nuclear and particle physics“ + journal club
(Schultz-Coulon, Mo 11-13, Stachel Fr 13-14)
- Vorlesung „Quark-Gluon Plasma Physics – from fixed target to LHC“
(Reygers, Stachel, Mo 11-13)
- Vorlesung „Nucleon and Hadron Physics at FAIR“
(Herrmann, Do 11-13)
- Seminar „Schlussexperimente der Teilchenphysik“
(Hansmann-Menzemer, Herrmann, Schultz-Coulon, Fr 9-11)
- **Projektpraktikum/Bachelorarbeit bei einem der Dozenten der Teilchenphysik**

entsprechende Angebote in der Festkoerperphysik: siehe Vorlesungsverzeichnis