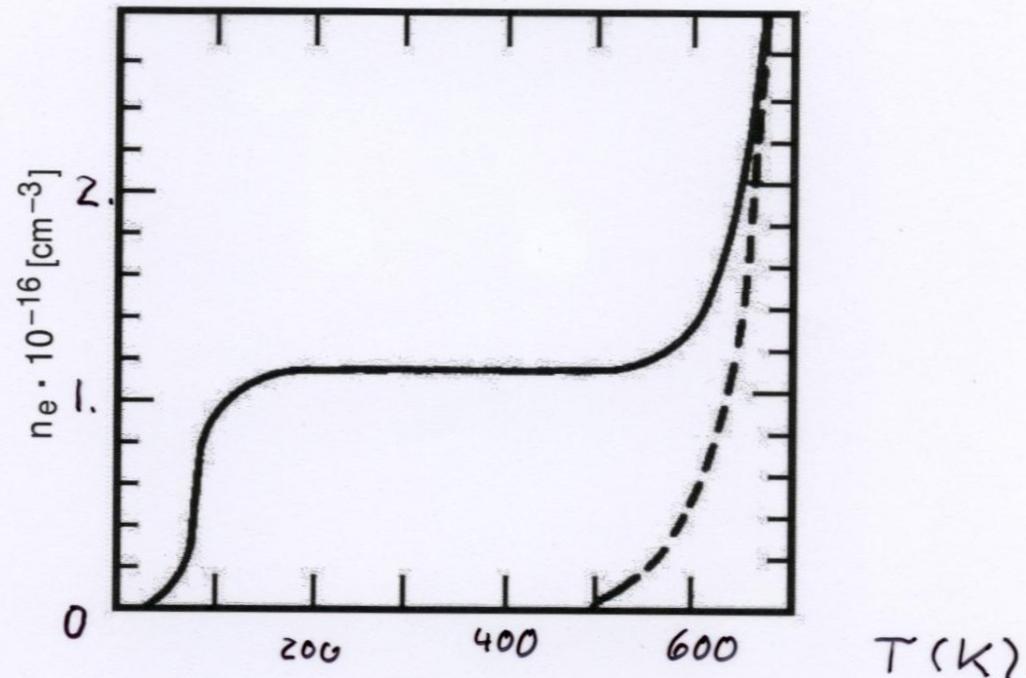


## Charakteristika dotierter Halbleiter

	$E_G$ (eV) at $T = 0$ K	$E_D$ (eV)		$E_A$ (eV)		$\epsilon$	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	$2 \times 10^{16}$
Ge	0.66	0.012	0.013	0.010	0.010	15.8	$2 \times 10^{19}$

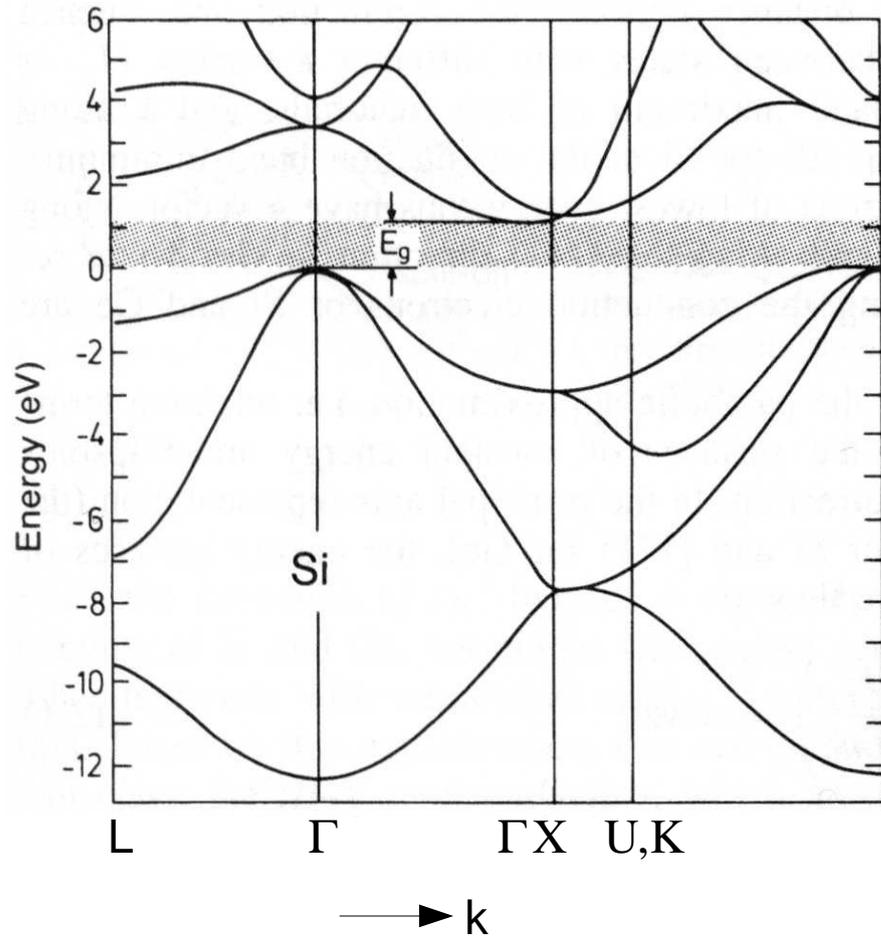
(Data from the *American Institute of Physics Handbook*, 3rd edn, McGraw-Hill, New York (1972))



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

Tab. 5-1

# berechnete Bandstruktur in Silizium und gemessenes Zyklotronresonanzsignal



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

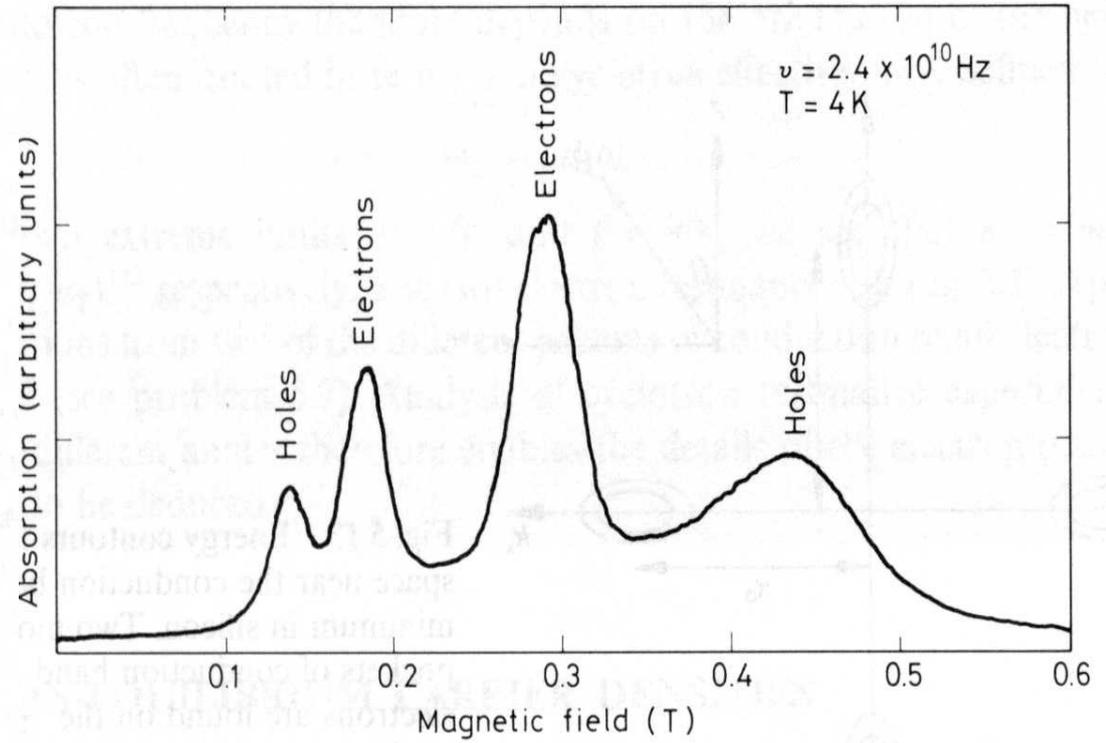


Fig. 5-8

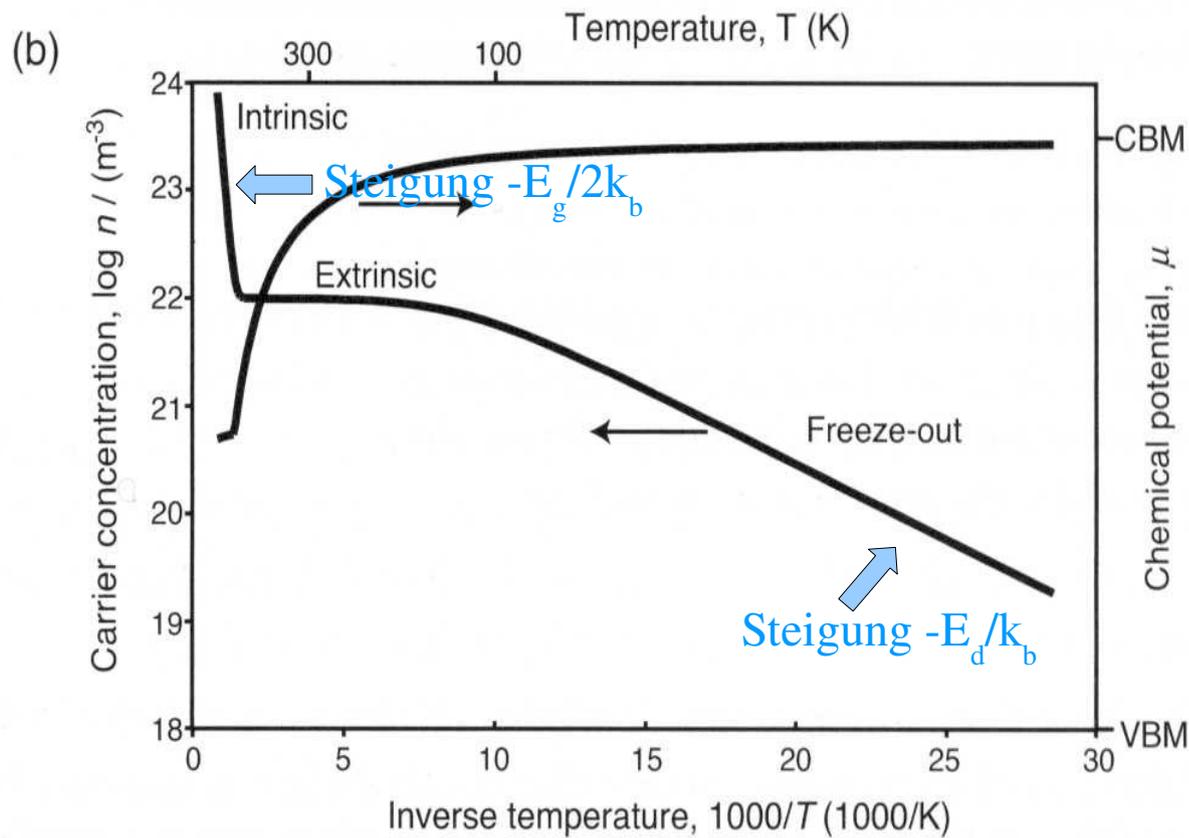
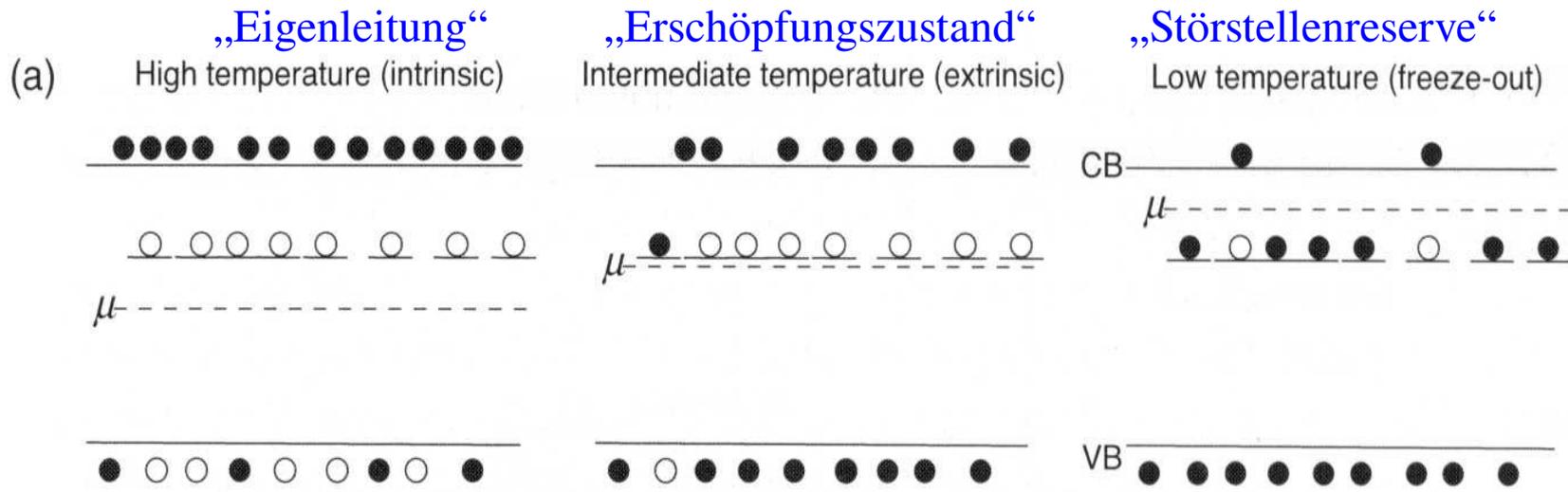


Fig. 5-9

# Dichte von Ladungsträgern und elektrische Leitfähigkeit fuer n-dotiertes Ge

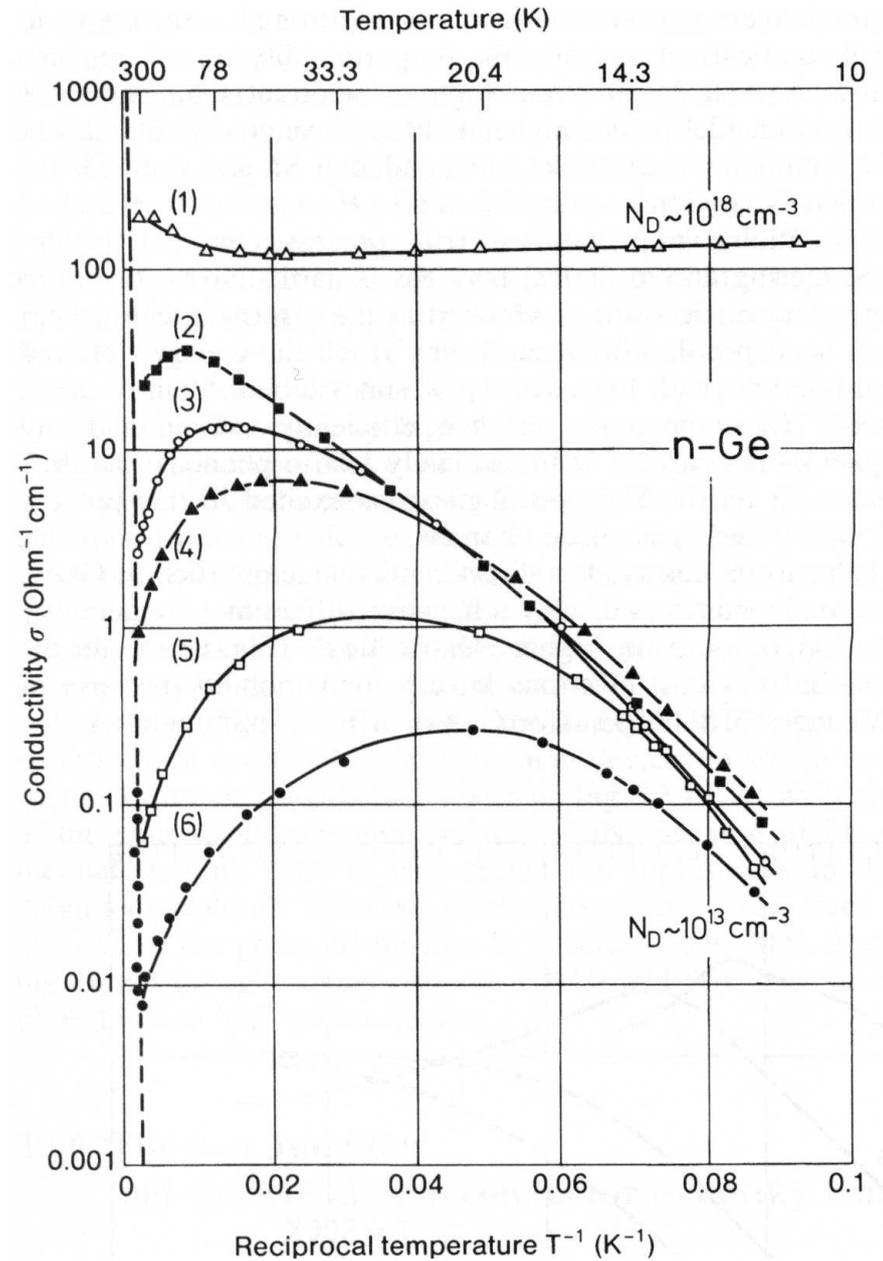
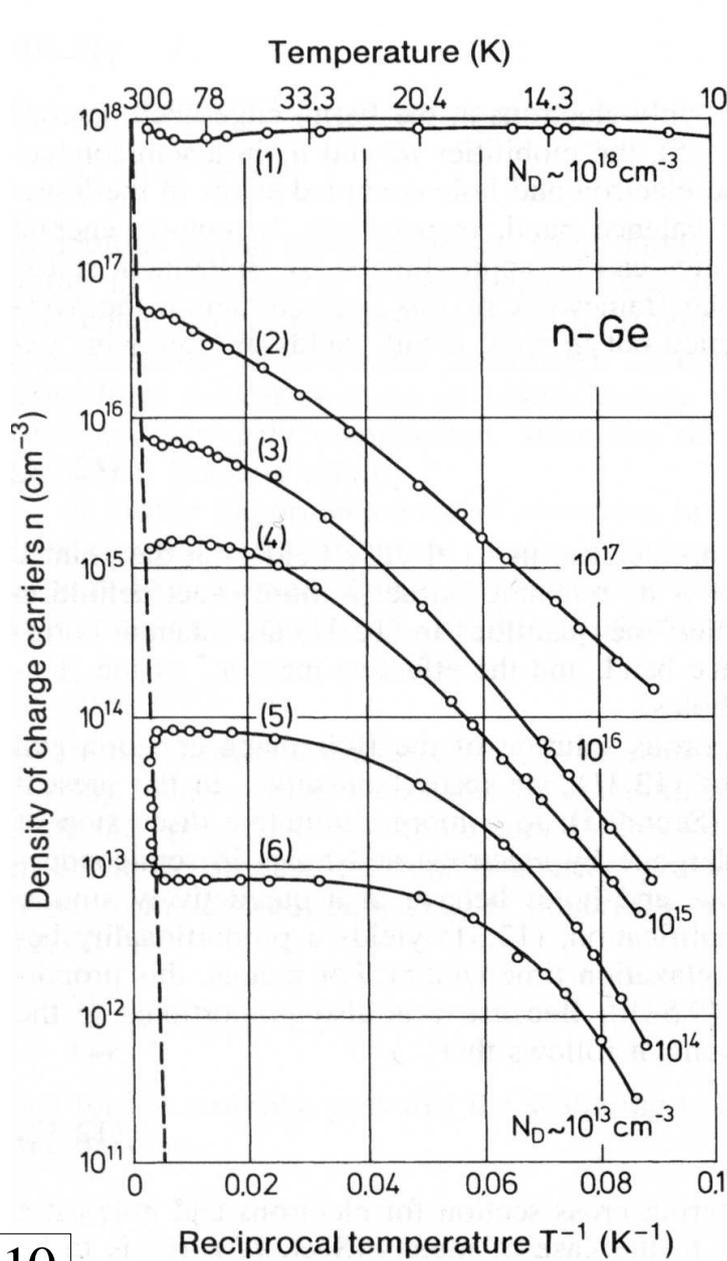


Fig. 5-10

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 sehr unterschiedlichen Ladungsträgerdichte als im Substrat  
z.B. Film mit sehr niedriger Ladungsträgerdichte ( $\rho$  gross)

auf Träger mit hoher Ladungsträgerdichte ( $\rho$  klein)

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

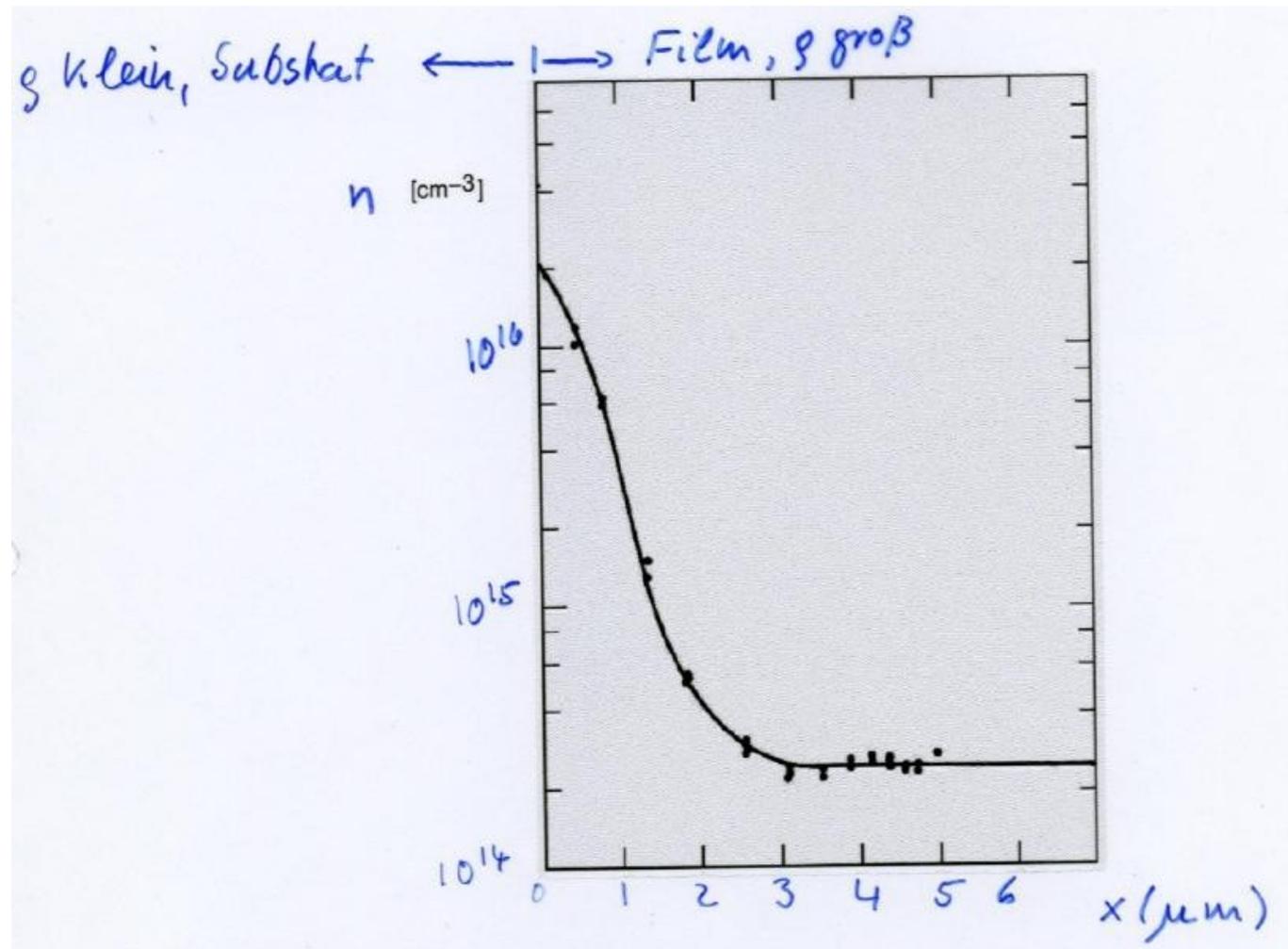
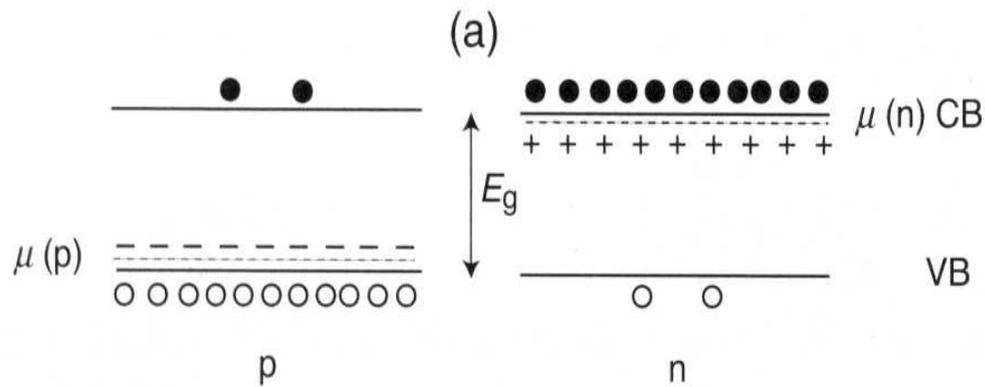


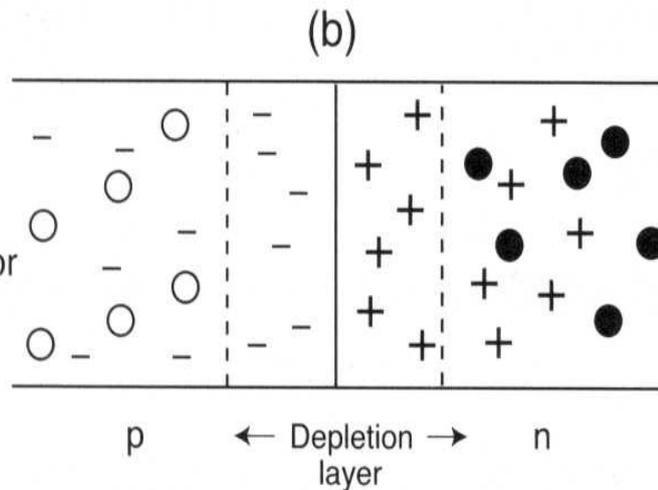
Fig. 5-11

# p/n Übergang

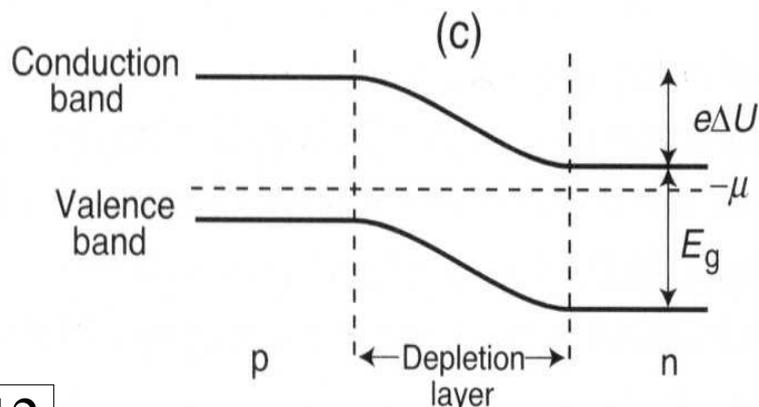


Energieniveaus der getrennten p und n Halbleiter  
ionisierte Donatoren (+) und Akzeptoren (-)

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



Ausbilden einer Verarmungszone wenn Kontakt hergestellt wird



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

Fig. 5-12

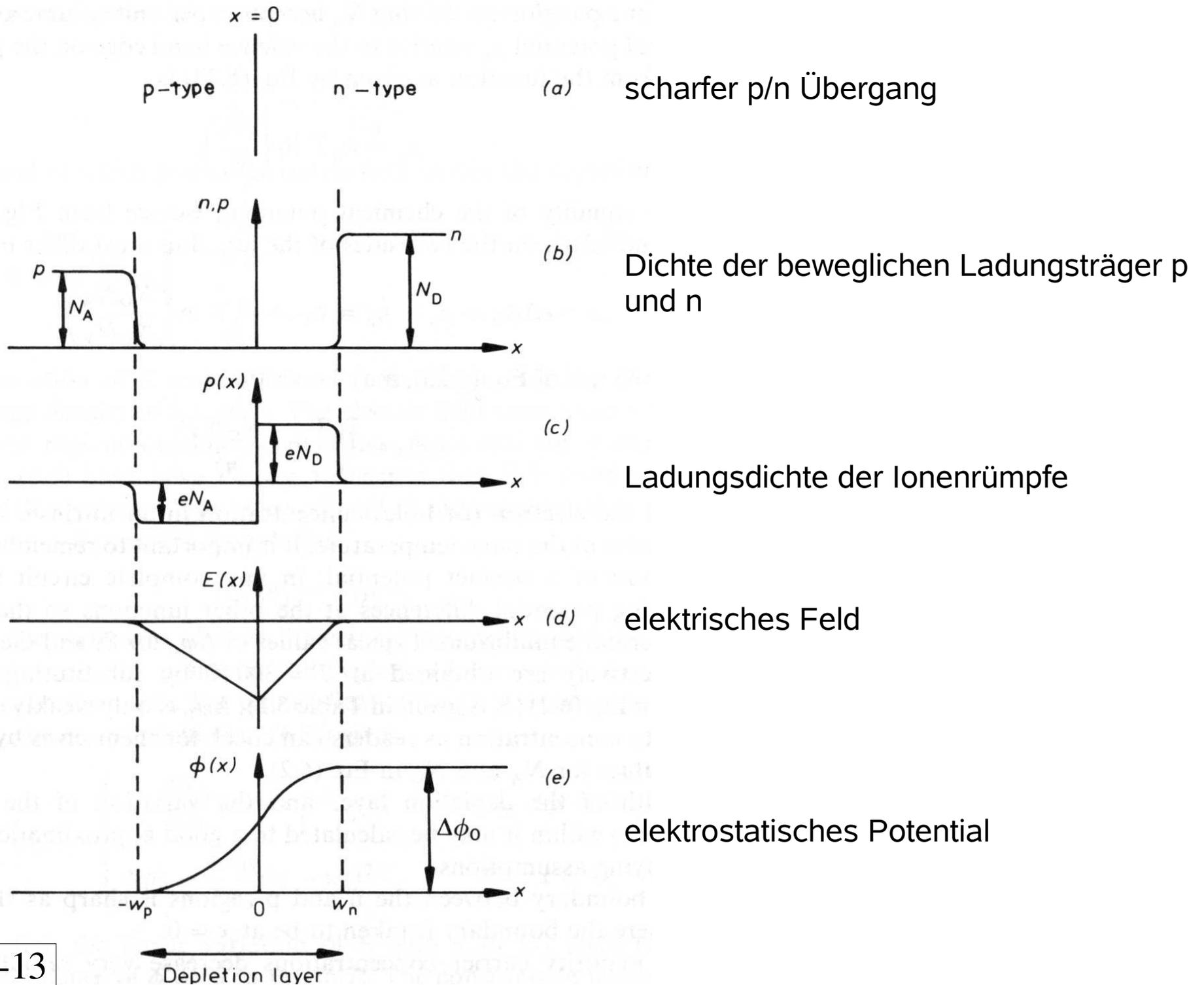
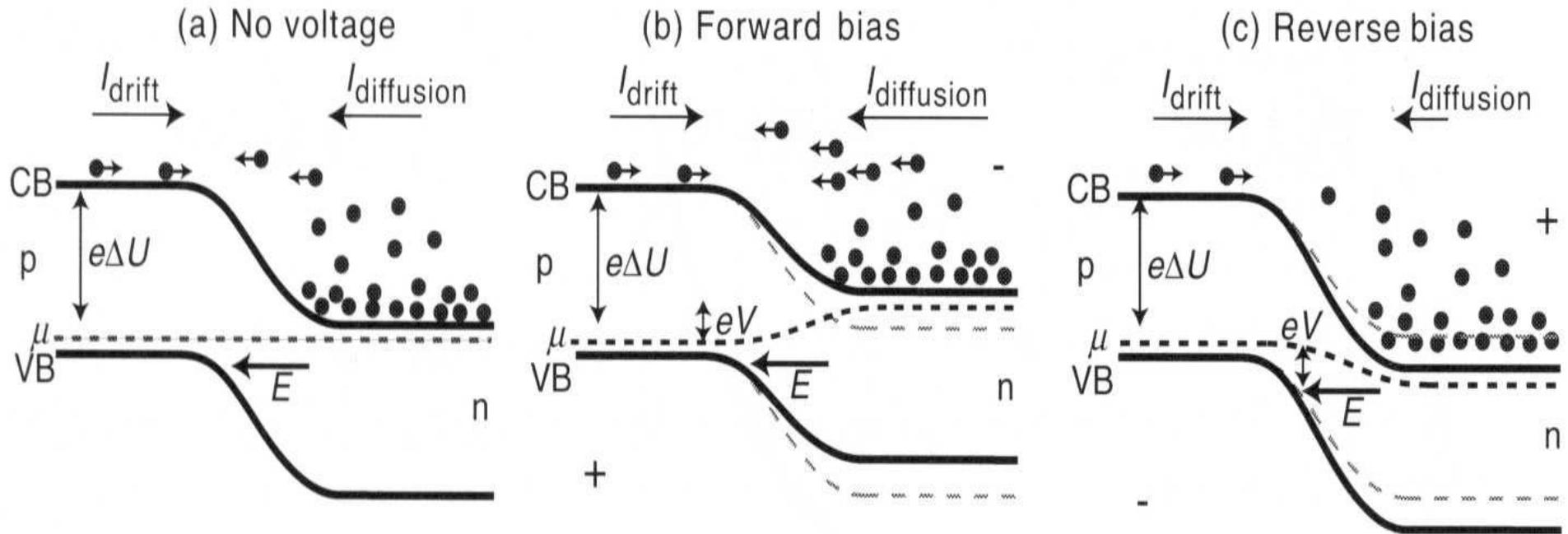


Fig. 5-13

p/n Übergang als Diode: Durchlassrichtung

Sperrrichtung



Kennlinie

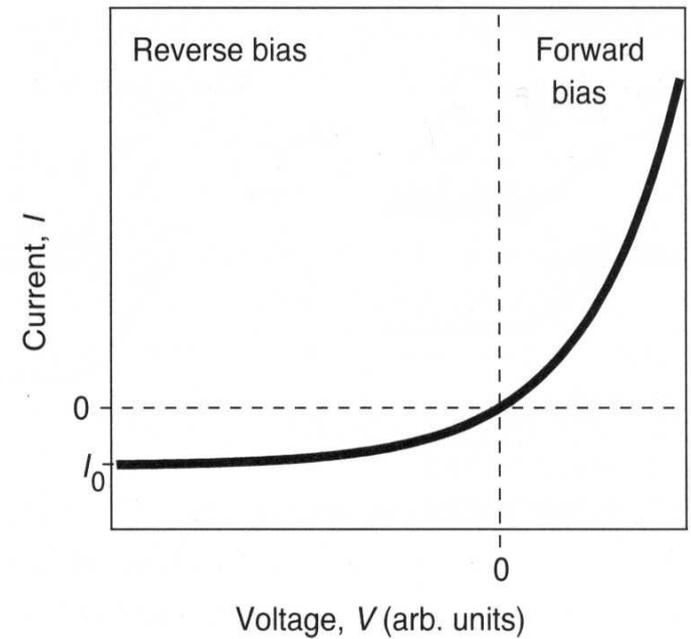
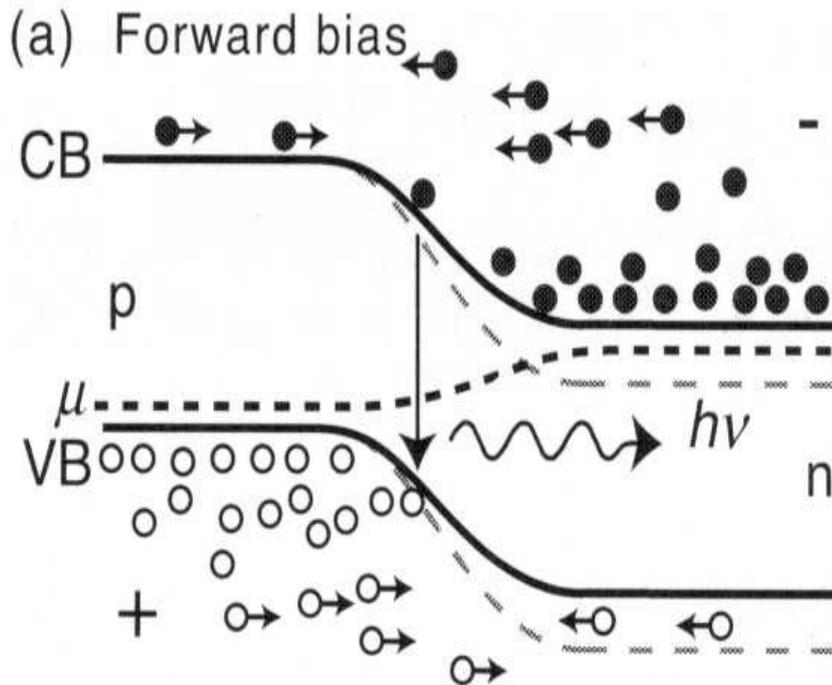
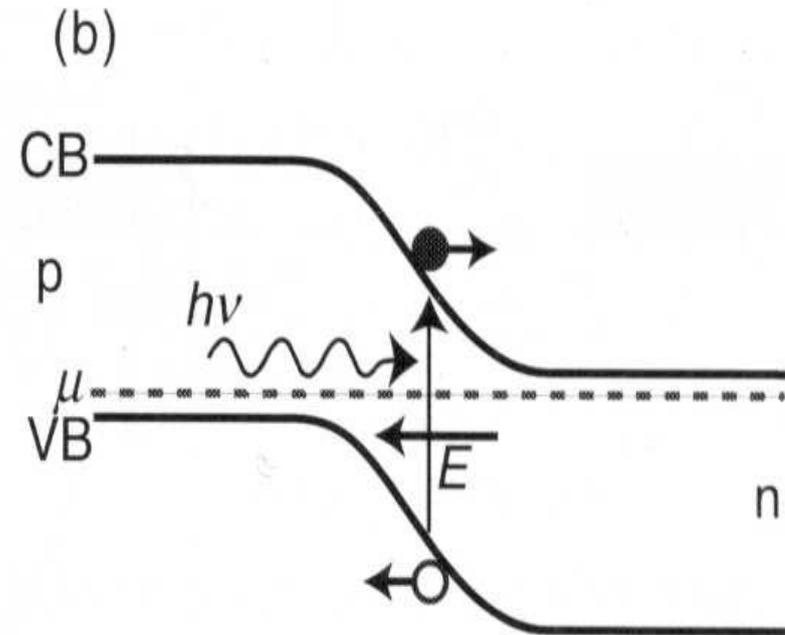


Fig. 5-14

# Optoelektronische Bauelemente basierend auf p/n Diode:



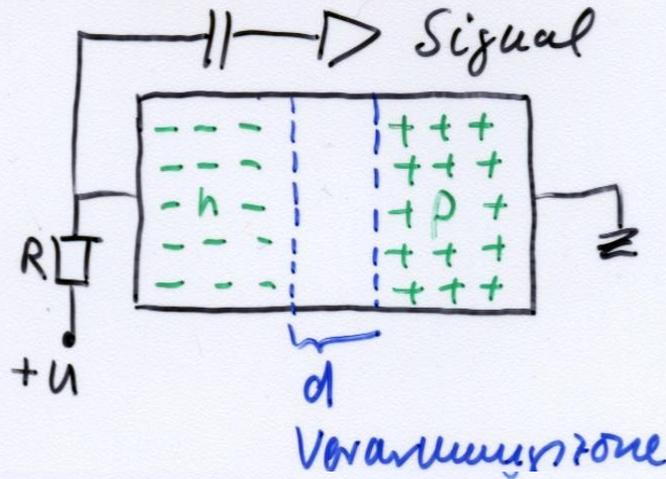
LED oder LASER  
 direkte Rekombination von Elektron  
 und Loch (in direktem Halbleiter)  
 -> Photonemission  
 bei Populationsinversion



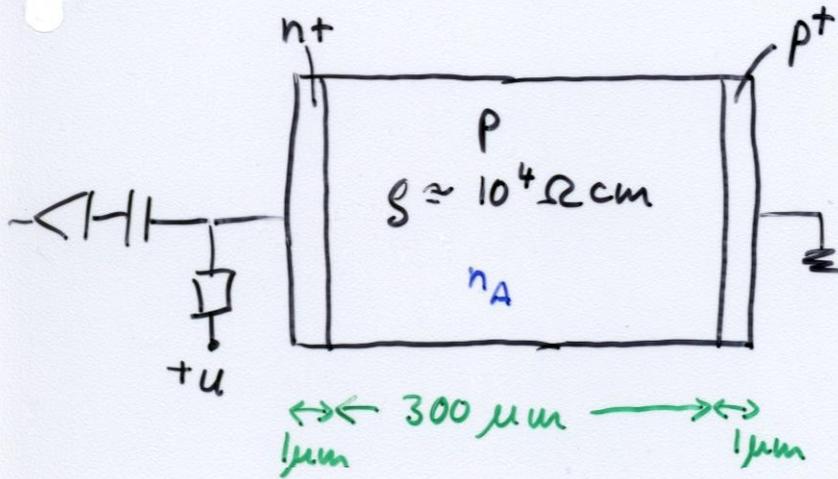
Photodetektor oder Solarzelle  
 Photon kreiert Elektron-Lochpaar in  
 Verarmungszone -> Strom wegen  
 E-Feld, induziert Spannungssignal

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

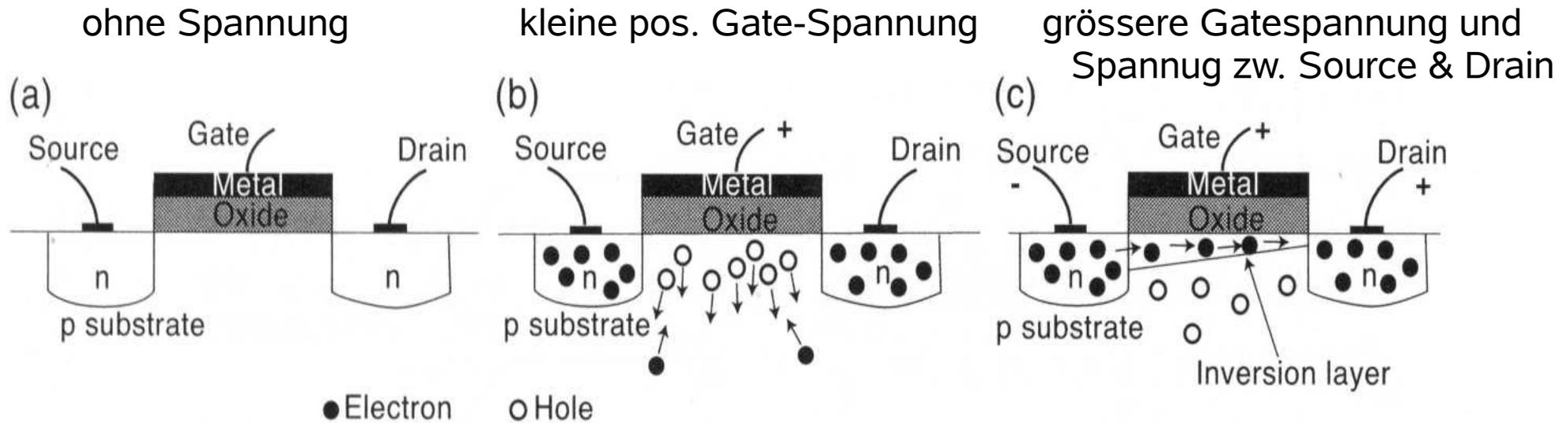
$$U = \frac{e}{2 \epsilon \epsilon_0} n_A d_p^2 \approx 100 \text{ V}$$

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

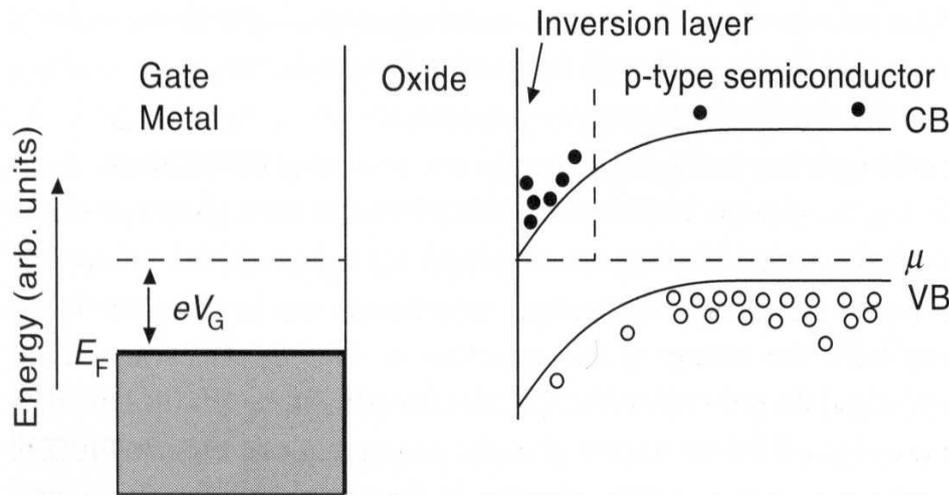
(sicher, Durchschlage bei  $10^7 \text{ V/m}$ )

Fig. 5-15

# MOSFET Transistor (MetalloOxyd - Silizium)

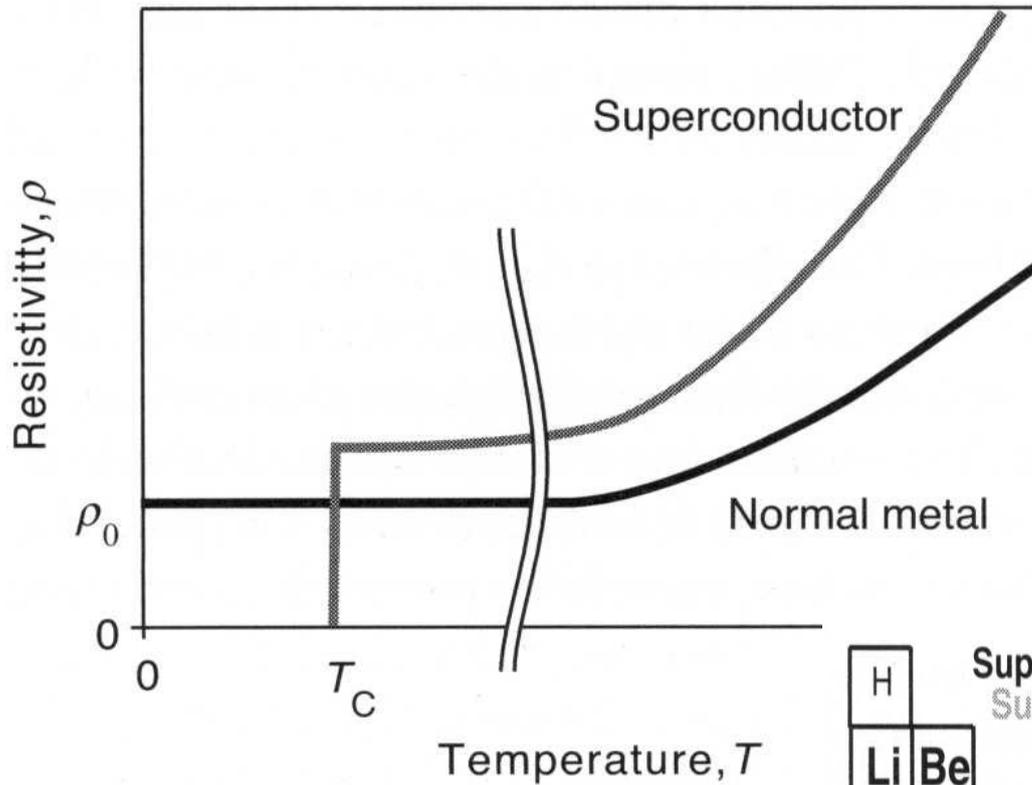


**so funktioniert auch eine CCD (digitale Kamera)  
MOS als Kapazität, dann Auslese via Schalten**



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

Fig. 5-17



wo gibt es Supraleitung?  
 aber auch viele Legierungen ( $T_c$   
 bis 9 K)  
 und  
 einige Übergangsmetalloxyde  
 (Hochtemperatursupraleiter,  
 entdeckt ab 1986,  $T_c$  bis 140 K)

H	Superconducting under normal conditions																He					
	Superconducting under high pressure																					
Li	Be																B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg																Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	<b>Ti</b>	<b>V</b>	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	<b>Zn</b>	<b>Ga</b>	<b>Ge</b>	<b>As</b>	<b>Se</b>	Br	Kr					
Rb	Sr	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Nb</b>	<b>Mo</b>	<b>Tc</b>	<b>Ru</b>	Rh	Pd	Ag	<b>Cd</b>	<b>In</b>	<b>Sn</b>	<b>Sb</b>	<b>Te</b>	I	Xe					
Cs	Ba	La	Hf	<b>Ta</b>	<b>W</b>	<b>Re</b>	<b>Os</b>	<b>Ir</b>	Pt	Au	<b>Hg</b>	<b>Tl</b>	<b>Pb</b>	<b>Bi</b>	Po	At	Rn					
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub											
			<b>Ce</b>	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	<b>Lu</b>						
			<b>Th</b>	<b>Pa</b>	<b>U</b>	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr						

Fig. 6-1

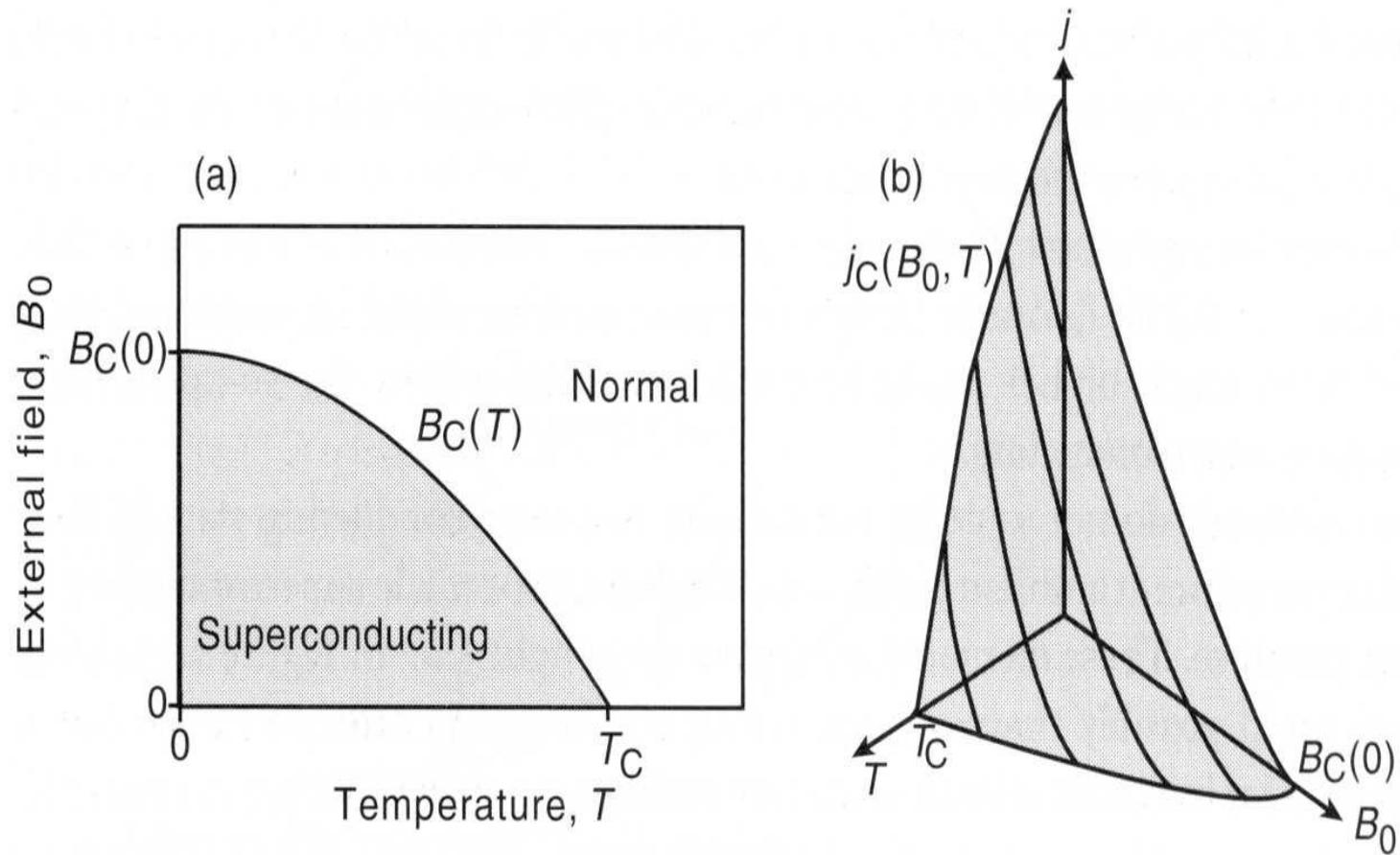


Fig. 6-2

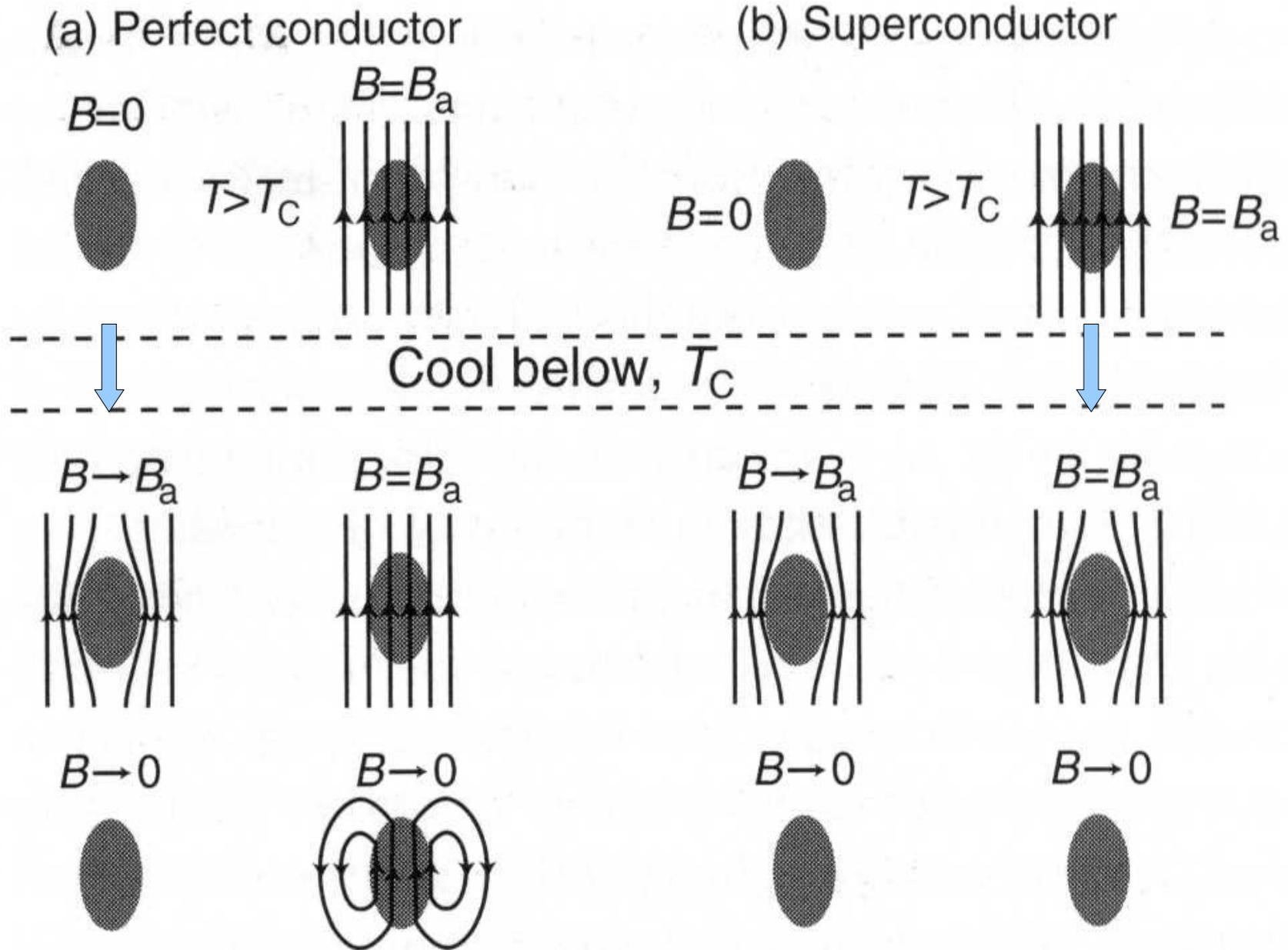
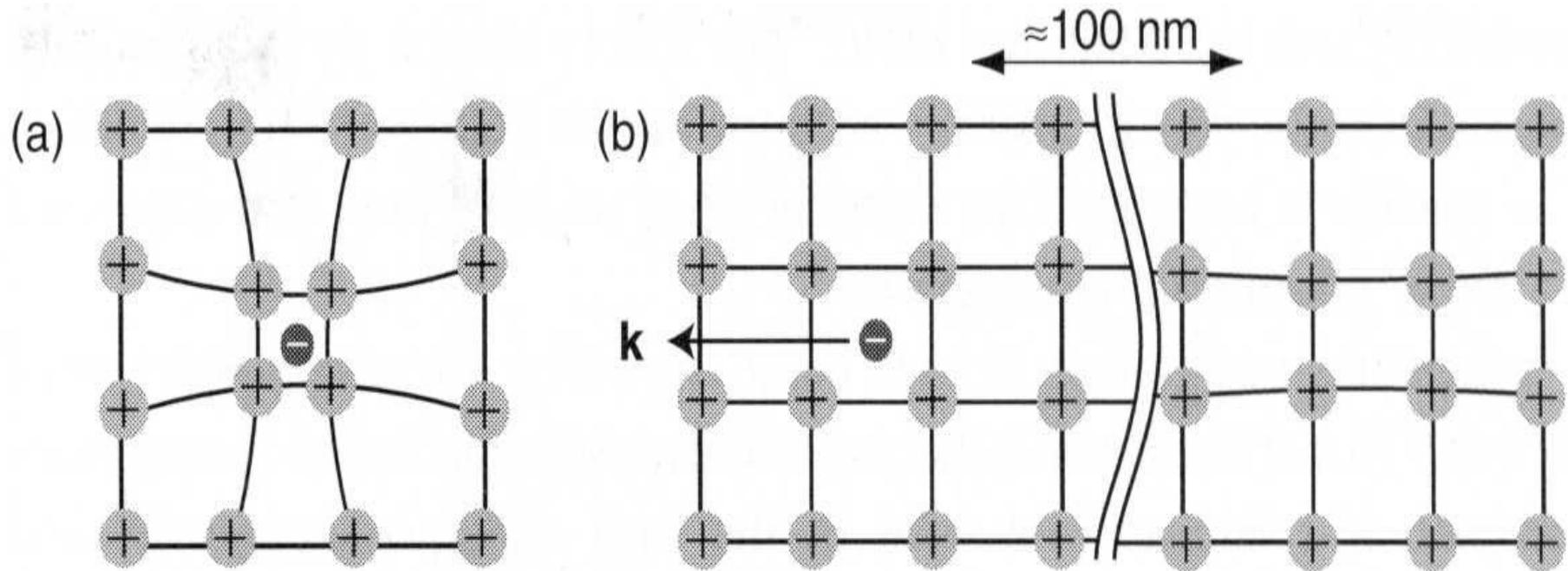
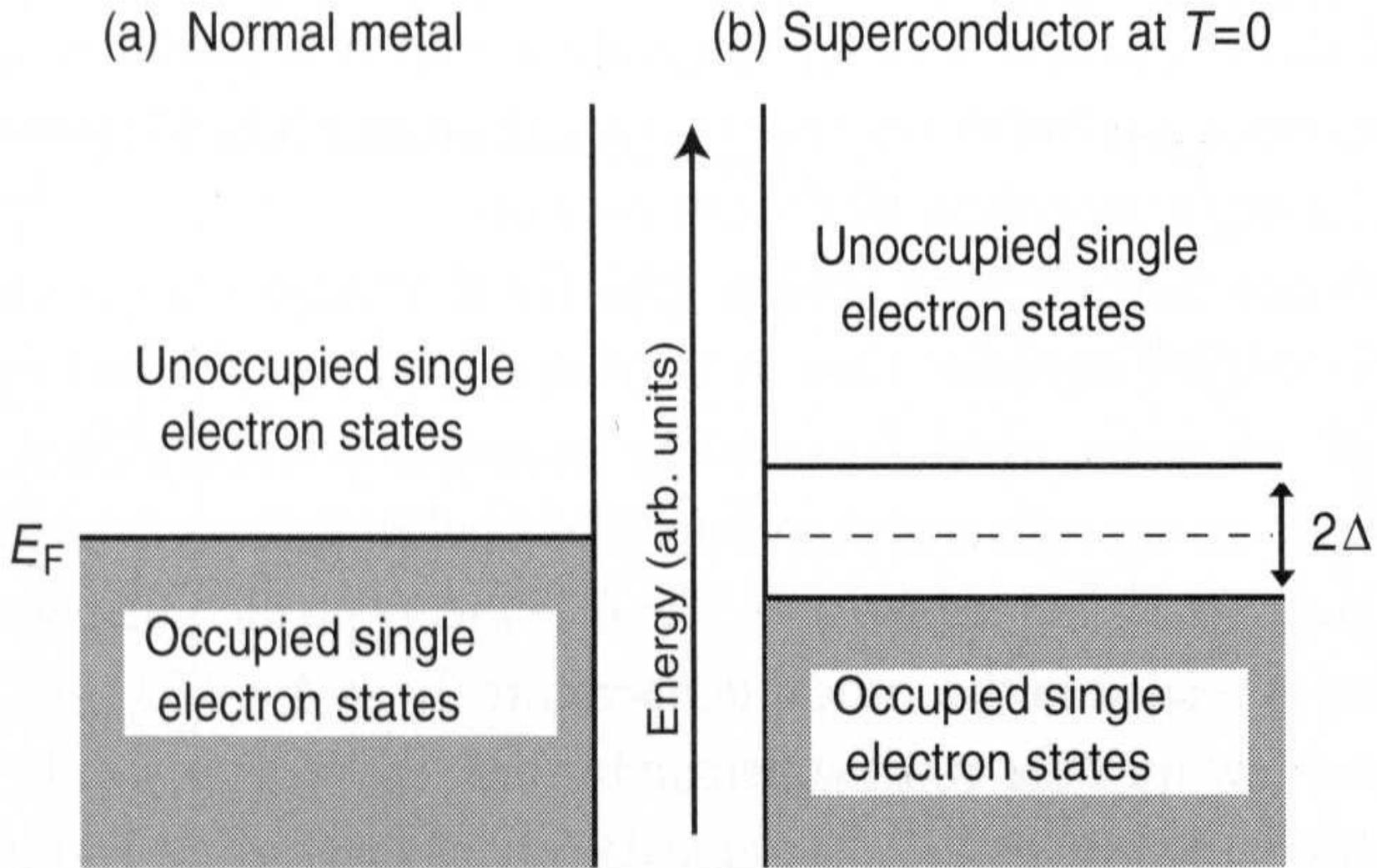


Fig. 6-3



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“**

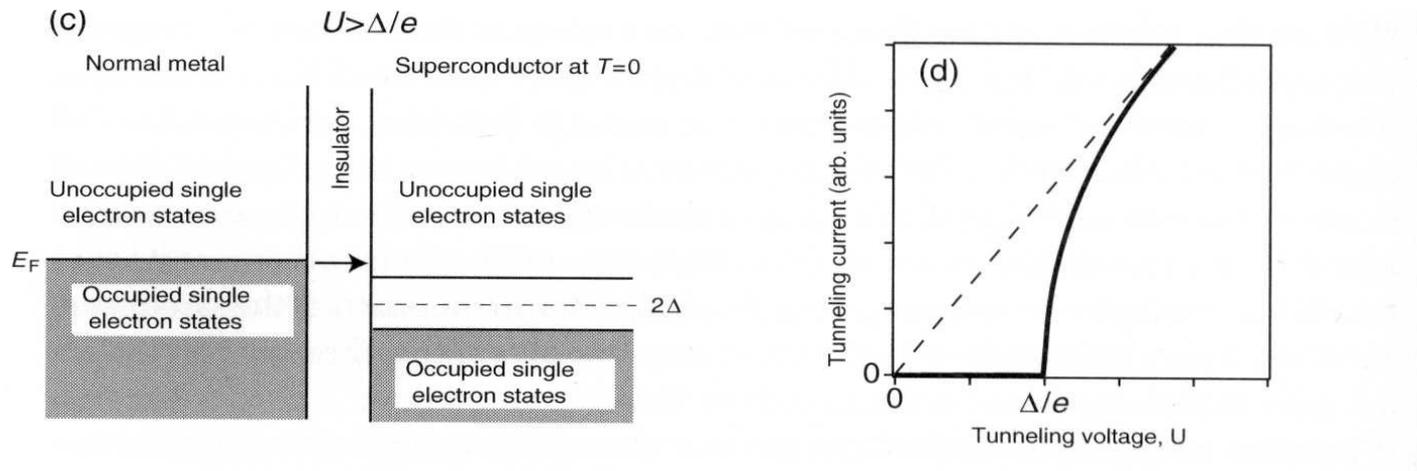
Fig. 6-4



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

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

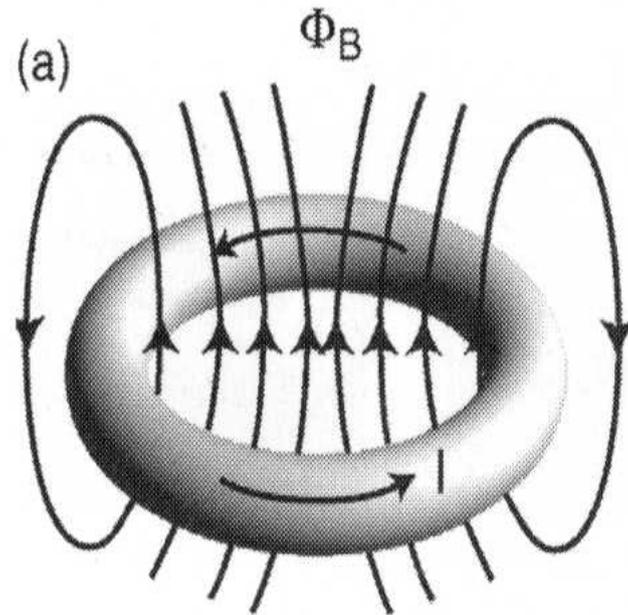


Fig. 6-6