

ELECTRONICA FISICAI. ESTRUCTURA CRISTAL·LINA****^{*} I.A. La xarxa directa

Disposició periòdica d'àtoms

- Definició de cristall
- Vectors translacions del cristall. Xarxes.
- Base i estructura cristal.lina. Cel.la primitiva. Cel.la de Wigner-Seitz.

Simetria dels cristalls

- Operacions puntuals de simetria
- Grups puntuals cristal.logràfics. Grups d'espai.
- Xarxes de Bravais
- Posició i orientació dels plans al cristall: l'índex de Miller

Estructures cristal.lines simples

- Estructures C, BCC, FCC
- Estructures hcp
- Estructures tipus diamant i zinc-blenda

***^{**} I.B. La xarxa recíproca

La xarxa recíproca

- Definició
- Construcció de la xarxa recíproca
- Exemples
- Primera zona de Brillouin. Volum de la cel.la unitat.
- Plans de la xarxa directa i vectors de la xarxa recíproca. Índex de Miller.

Determinació d'estructures cristal.lines

- Feixos de partícules incidents; energies i longituds d'ona associades.
- Formulacions de Bragg i von Laue.
- Construcció d'Ewald
- Mètodes experimentals de determinació.
- Factors d'estructura (geomètric i atòmic)

BIBLIOGRAFIA BASICA

- * C.KITTEL: "Introduction to Solid State Physics"
 - ** J.M .ZIMAN: "Principios de la teoria de sólidos"
 - *** N.W.ASHCROFT i N.D.MERMIN: "Solid State Physics"
 - **** G.BURNS: "Introduction to group theory with applications"
- Problemes: J.M.ROJO i J.PIQUERAS "Problemas de introducción a la física del estado sólido"
- P.DUCROS i J.LAJZEROWICZ-BONNETEAU: "Problèmes de cristallographie"

ELECTRONICA FISICA

II. ELECTRONS DE VALENCIA ALS SOLIDS CRISTAL.LINS

* II.A. Electrons lliures en una regió acotada de l'espai

Cas unidimensional

- Condicions de contors per estats estacionaris: Quantificació dels estats electrònics.
- Nivell de Fermi.

Cas tridimensional

- Condició de contorn de Born-von Karman. Solucions no estacionàries.
- Nivell de Fermi. Velocitat i moment de Fermi dels electrons.
- Número d'estats.

*** II.B. Estats del cristall. Aproximacions bàsiques del hamiltonià.

El hamiltonià del cristall.

- Aproximació adiabàtica o de Born-Oppenheimer.
- L'aproximació a un electró.
- L'aproximació de bandes: Potencial cristal·lí.

Periodicitat cristal·lina i estats electrònics.

- Teorema de Bloch.
- Estats electrònics i primera zona de Brillouin. Bandes d'energia.

** II.C. Bandes d'energia.

Solució explícita de l'equació d'ones dels electrons al cristall.

- Transformada de Fourier i teorema de Bloch.
- Solució de l'equació d'ones a la vora de la zona de Brillouin. Origen del gap d'energia. Gap d'energia i difracció Bragg.
- Solució de l'equació d'ones a punts pròxims a la vora de la zona de la zona de Brillouin.

Bandes d'energia del Si i AsGa

- Punts i línies de més alta simetria a la primera zona de Brillouin d'un sistema FCC.
- Ocupació de les bandes de a 0 K. Interpretació dels esquemes de bandes d'energia.

Propietats de les bandes d'energia. Tensor massa eficaç.

BIBLIOGRAFIA BASICA

- * C.KITTEL: "Introduction to solid state physics"
- ** N.W.ASHCROFT i N.D.MERMIN: "Solid state physics"
J.M.ZIMAN: "Principios de la teoria de sólidos"
- ***F.BASSANI: "Electronic states and optical transitions in solids"

ELECTRONICA FISICA

III. DINAMICA DE L'ELÈCTRO

** III.A. Teorema de la massa eficaç

- Condicions de validesa del teorema de la massa eficaç.
- Teorema de la massa eficaç.
- Equació d'evolució de l'estat associat a un paquet d'ones, en presència d'un camp elèctric. Condicions del camp elèctric per poguer aplicar el teorema de la massa eficaç.
- Equació d'evolució d'un estat associat a un paquet d'ones en presència d'un camp magnètic. Condicions sobre el camp magnètic per poguer aplicar el teorema de la massa eficaç.

* ** III.B. Dinàmica de l'electró en presència de camps externs.

- Interpretació del teorema de la massa eficaç en termes de partícules efectives en camps externs.
- Moment de la partícula efectiva (pseudomoment).
- Equació de moviment. Acceleració de la partícula.
- Velocitat de la partícula efectiva.
- Interpretació del moviment en terme de partícules clàssiques: Moviment en camps elèctrics i en camps magnètics.

*** III.C. Exemples d'aplicació del teorema de la massa eficaç.

- Bandes d'energia d'un semiconductor en presència d'un camp elèctric constant.
- Concepte de forat. Magnituds físiques associades.
- Nivells d'energia de les impureses substitucionals poc profundes (dadores i acceptores) als semiconductors.
- Bandes d'energia d'un semiconductor en presència d'un camp magnètic: Nivells de Landau.

BIBLIOGRAFIA BASICA

- * A.C. SMITH, J.F. JANAK and R.B. ADLER: "Electronic conduction in solids" (McGraw-Hill, 1967).
- ** P. KIREEV: "La physique des semiconducteurs" (Mir-Moscú, 1975)
- *** C. KITTEL: "Introduction to solid state physics"
- **** H.H. BUBE: "Electronic properties of crystalline solids" (Academic press, 1974)

ELECTRONICA FISICA

IV. ESTADISTICA DE PORTADORS ALS SEMICONDUCTORS EN EQUILIBRI

** IV.A. Fermions; la integral de Sommerfeld

Funció de distribució de Fermi-Dirac.

- Propietats

Determinació del nivell de Fermi a 0 K

- Variació del nivell de Fermi amb la temperatura

Densitat d'estats equivalent

Gas d'electrons degenerat i no degenerat

- Variació del nivell de Fermi amb la temperatura

Integral de Sommerfeld

- Valor promig d'una magnitud física d'un conjunt de fermions

- Aplicacions:

Variació del nivell de Fermi amb la temperatura.

Calor específica electrònica.

*** IV.B. Semiconductors intrínsec en equilibri

Ocupació d'estats electrònics als semiconductors

- Densitat d'estats d'electrons i forats als extrems de les bandes.

- Concentració d'electrons i forats als extrems de les bandes.

Semiconductors no degenerats.

- Equació de neutralitat

- Nivell de Fermi.

- Concentració d'electrons i forats.

Semiconductors degenerats.

- Condició de degeneració total

- Concentració d'electrons i forats.

*** IV.C. Semiconductors extrínsec en equilibri

Estadística de semiconductors amb impureses

- Funció de distribució de Fermi-Dirac per els nivells d'impuresa.
- Concentració d'electrons i forats als nivells d'impuresa.
- Equació de neutralitat.
- Llei d'acció de les masses per un semiconductor no degenerat.

Semiconductor tipus N.

- Domini de baixes temperatures (ionització dels nivells d'impuresa): Variació del nivell de Fermi amb la concentració d'impureses. Ocupació dels estats de la banda de conducció.
- Domini d'altres temperatures (participació dels electrons de la banda de valència): Variació del nivell de Fermi amb la concentració d'impureses i densitat de forats.
- Regions extrínseca i intrínseca de funcionament d'un semiconductor.
- Generalització dels resultats als semiconductors tipus P.

Semiconductors amb impureses dadores i acceptores.

- Semiconductors compensats.
- Semiconductors no compensats: Equació de neutralitat. Variació del nivell de Fermi amb la temperatura (domini de baixes temperatures) en funció de N_d/N_a .

Semiconductors degenerats.

- Concentració crítica d'impureses.
- Influència dels efectes d'apantallament.

BIBLIOGRAFIA

- *S. Askenazy: "Physique statistique" (no publicat)
- **J.P. McKelvey: "Física del estado sólido y de semiconductores" (Ed. Limusa, 1976).
- ***P. Kireev: "La physique des semiconducteurs" (Ed. Mir, 1975).
- ****R.H. Bube: "Electronic properties of crystalline solids" (Ed. Academic Press, 1974).

V. TEORIA DE TRANSPORT ALS SEMICONDUCTORS.

** V.A. L'equació de transport de Boltzmann

L'equació de transport de Boltzmann

- Hipòtesis
- Equació de Boltzmann
- Terme de col·lisions: mecanismes. Estudi dels diferents processos
- Sistema en equilibri homogeni; principi de balanç detallat. Funció de distribució de Fermi-Dirac.
- Sistema en equilibri tèrmic no-homogeni. Funció de distribució associada.

Solució de l'equació de Boltzmann

- Aproximació d'ordre zero
- Aproximació de primer ordre: temps de relaxació

Teoremas de conservació

- Conservació de la càrrega elèctrica
- Conservació de l'energia total del sistema.

Teoria de transport

- Coeficients cinètics

*** V.B. Transport en absència de camp magnètic

- Solució en primer ordre de l'equació de Boltzmann
- Conductivitat elèctrica d'electrons i forats. Dependència en temperatura en funció dels processos de col·lisió.
- Mobilitat
- Efectes termoelèctrics

**** V.C. Transport en presència de camp magnètic

- Solució en primer ordre en el camp magnètic de l'equació de Boltzmann: Desenvolupament Jones-Zener
- Efectes lineals (efecte Hall)
- Efectes quadràtics (magneto-resistència)
- Influència dels diferents mecanismes de col·lisió
- Generalització des efectes en presència dels dos tipus de portadors.

BIBLIOGRAFIA

- * A.C.SMITH, J.F.JANAK and R.B.ADLER:"Electronic conduction: in Solids" (McGraw-Hill, 1967).
- ** P.KIREEV:"La physique des semiconducteurs" (Mir-Moscú,1975)
- *** R.H.BUBE:"Electronic properties of crystalline solids". (Academic press, 1974).
- **** F.J. BLATT:"Physics of electronic conduction in solids" (McGRAW-HILL,1968).

ELECTRONICA FISICA

VI. EQUACIONS FONAMENTALS DELS SEMICONDUCTORS

** VI.A. Equacions generals

Equacions de Boltzmann per electrons i forats.

- Introducció dels efectes de generació i recombinació; aproximació del temps de relaxació.
- Equacions de continuïtat. Cas particular de generació i recombinació banda a banda.
- Relaxació d'electrons i forats en equilibri tèrmic: pseudo-nivells de Fermí.

Propietats derivades de les equacions de Boltzmann.

- Densitat de portadors.
- Densitat de corrents elèctrics: Corrents d'enrossegament i de difusió.
- Constants de difusió: Llei de Fick i relacions d'Einstein.

Equacions generals per un semiconductor.

*** VI.B. Mecanismes de generació-recombinació

Efectes de volum

- Mecanisme indirecte (tèrmic): Estats trapes i centres de recombinació. Model de Hall-Schokley-Read; temps de vida dels portadors.
- Generació per ionització d'impacte i recombinació Anger.
- Generació per efecte Zener.
- Generació-recombinació radiativa.

Efectes de superfície

- Estats superficials.
- Recombinació superficial.

**** VI.C. Excés de portadors als semiconductors

Equacions fonamentals.

- Solució exacte: Llei d'Ohm.
- Aproximació de la neutralitat elèctrica.
- Transport ambipolar.

Solucions particulars.

- Cas d'un cristall uniforme i infinit amb excès de portadors creats uniformement $\alpha=0$
- Solució de l'estat estacionaria a una barra infinite amb un excès de portadors creats a una superfície perpendicular a la barra: Detall del transport ambipolar. Extensió del problema al cas en que hi hagi un camp uniforme paral·lel a la barra.
- Cas d'un sistema uniforme unidimensional sotmès a un camp elèctric i a on es generen N portadors a un determinat lloc i instant de temps.
- L'experiment de Haynes-Shokley.

Fotoconductivitat.

- Fotoconductivitat en estat estacionari. Influència de la re combinació superficial.
- Fotoconductivitat transitòria. Influència de la recombinació superficial.

BIBLIOGRAFIA

- * A.C. SMITH, J.F. JANAK and R.B. ADLER: "Electronic conduction in Solids" (McGraw-Hill, 1967).
- ** P. KIREEV: "La physique des semiconducteurs" (Mir-Moscú, 1975)
- *** R.H. BUBE: "Electronic properties of crystalline solids".
- **** J.P. McKELVEY: "Física del estado sólido y de los semiconductores" (Limensa, México 1976)
- ***** R.A. SMITH: "Semiconductors" (Cambridge Univ. Press, N.Y. 1961)

VII. DISPOSITIUS ELEMENTALS: I. LA UNIO METALL-SEMICONDUCTOR

VII.A. Model ideal de barrera Schottky

Unió metall-semiconductor en equilibri.

- Diagrama de bandes.
- Càrrega, camp i zona de càrrega d'espai.

Capacitat de la barrera:

- Cas en que la zona de càrrega d'espai estigui desprovista de portador majoritaris.
- Influència dels portadors majoritaris.
- Influència dels portadors minoritaris.
- Aplicació: mesura de la caiguda de potencial a través de la zona de càrrega d'espai i de la densitat d'impureses.

VII.B. Teoria elemental dels contactes rectificadors

Corrent de saturació; Llei de Richardson-Duzham.

Característica corrent-tensió en polarització directa.

Influència de l'efecte de la força imatge.

Efecte túnel.

Teoria de diode tenint present els efectes de difusió.

Corrent dels portadors minoritaris: quocient d'injecció.

VII.C. Contactes ohmics

Contactes ohmics induïts per efecte túnel.

Contactes Schottky ohmics.

- Càrrega, camp i zona de càrrega d'espai.
- Contacte neutre.

VII.D. Efectes superficials

Estats superficials

Efectes dels estats superficials a la unió metall-semiconductor.

- Distribució d'estats a la barrera.
- Alçada de la barrera.
- Control pel estats superficials del funcionament del diode.

BIBLIOGRAFIA

- E.H. RHODERICK: "Metal-semiconductor contacts" (Clavendon Press, 1980).
- I.P. MCKELVEY: "Física del estado sólido y de Semiconductores"
(Limusa, 1976).
- R.S. MULLER, T.I. KAMINS: "Electrónica de los dispositivos para
circuitos integrados" (Limusa, 1977).
- S.M. SZE: "Physics of semiconductor devices" (J. Wiley, 1969).