

Table des matières

| | |
|---|----------|
| Chapitre I - INTRODUCTION | 1 |
| 1- Matériaux anciens et matériaux modernes | 1 |
| 2- Classification des matériaux | 2 |
| 2.1. Classement des matériaux selon leur microstructure | 2 |
| 2.2. Classement des matériaux selon leur emploi | 4 |
| 3- Plan de l'ouvrage | 5 |

| |
|---|
| <p style="text-align: center;">Partie A : DE LA MICROSTRUCTURE A LA MACROSTRUCTURE DES MATERIAUX</p> |
|---|

| | |
|---|-----------|
| Chapitre II - ELEMENTS DE PHYSIQUE ATOMIQUE | 7 |
| 1- Bases de la mécanique quantique | 8 |
| 1.1. Equivalence masse – énergie | 8 |
| 1.2. Dualité ondes – corpuscules | 8 |
| 1.3. Principe d'exclusion de Pauli | 10 |
| 1.4. Principe d'incertitude de Heisenberg | 10 |
| 1.5. Quelques rappels sur les propriétés des ondes | 10 |
| 1.6. Ondes associées aux particules | 13 |
| 1.7. Notion de paquet d'ondes | 14 |
| 1.8. Ondes stationnaires | 15 |
| 2- Equation de Schrödinger | 17 |
| 2.1. Equation de Schrödinger indépendante du temps | 17 |
| 2.2. Energie potentielle d'une particule | 17 |
| 2.3. Solutions de l'équation de Schrödinger | 18 |
| 3- Electrons dans les atomes | 19 |
| 3.1. Moments cinétiques et moments magnétiques | 19 |
| 3.2. Structure électronique des atomes | 24 |
| 4- Formes des orbitales atomiques | 29 |
| 4.1. Représentation radiale des orbitales atomiques | 29 |
| 4.2. Représentation angulaire des orbitales atomiques | 29 |
| 4.3. Autres représentations | 30 |
| 5- Liaisons atomiques | 31 |
| 5.1. Liaisons fortes | 31 |
| 5.2. Liaisons faibles | 33 |
| 5.3. Propriétés induites par le type de liaison | 34 |
| 6- Exercices | 35 |
| Chapitre III - SOLIDES CRISTALLINS | 37 |
| 1- Stabilité des solides | 37 |
| 2- Concepts des structures cristallines | 40 |
| 2.1. Loi de la constance des angles dièdres | 41 |
| 2.2. Loi des troncatures | 41 |
| 2.3. Forme macroscopique des cristaux | 43 |
| 3- Réseau périodique | 44 |
| 3.1. Rangées et plans réticulaires | 45 |
| 3.2. Maille élémentaire et maille conventionnelle | 45 |
| 4- Systèmes cristallins | 46 |
| 4.1. Réseaux de Bravais | 46 |
| 4.2. Symétries cristallines | 48 |
| 5- Indices de Miller | 49 |
| 5.1. Cas des plans | 49 |
| 5.2. Cas des directions | 50 |
| 5.3. Distances entre plans | 51 |
| 5.4. Cas particulier du système hexagonal | 52 |
| 5.5. Plans de grande densité | 52 |

| | |
|--|------------|
| 6- Quelques structures types | 53 |
| 7- Cristaux métalliques | 54 |
| 8- Cristaux céramiques | 56 |
| 8.1. Exemple des silicates | 56 |
| 8.2. Exemple des pérovskites | 57 |
| 9- Défauts des structures cristallines | 58 |
| 9.1. Types de défauts | 58 |
| 9.2. Défauts ponctuels | 59 |
| 9.3. Défauts linéaires : dislocations | 60 |
| 9.4. Défauts plans : joints de grains | 63 |
| 10- Quasicristaux | 64 |
| 11- Exercices | 66 |
| | |
| Chapitre IV - SOLIDES NON CRISTALLINS OU PARTIEL. CRISTALLINS | 69 |
| 1- Structure des verres | 69 |
| 2- Structures des polymères | 72 |
| 2.1. Macromolécules | 72 |
| 2.2. Configurations des macromolécules | 73 |
| 2.3. Liaisons entre les atomes des macromolécules | 74 |
| 2.4. Polymères réguliers | 77 |
| 2.5. Polymères cristallins et non cristallins | 79 |
| 2.6. Polymères thermodurcis | 83 |
| 3- Exercices | 85 |
| | |
| Chapitre V - PROPRIETES ELASTOPLASTIQUES MICROSCOPIQUES | 87 |
| 1- Contraintes et déformations | 87 |
| 1.1. Contraintes | 87 |
| 1.2. Déformation d'un milieu continu | 90 |
| 1.3. Relation contrainte déformation : élasticité | 91 |
| 2- Déformation élastique microscopique | 93 |
| 2.1. Loi de Hooke | 93 |
| 2.2. Agitation thermique et dilatation | 94 |
| 3- Vibrations des réseaux cristallins | 95 |
| 3.1. Premiers modèles | 95 |
| 3.2. Ondes élastiques dans les cristaux | 97 |
| 4- Déformation plastique des cristaux | 99 |
| 4.1. Glissements dans les monocristaux | 99 |
| 4.2. Consolidation des monocristaux | 101 |
| 4.3. Limite élastique des cristaux | 102 |
| 5- Rôle des dislocations | 103 |
| 5.1. Mécanisme de cisaillement | 103 |
| 5.2. Propriétés élastiques des dislocations | 104 |
| 5.3. Durcissement structural | 108 |
| 6- Exercices | 109 |
| | |
| Chapitre VI - PROPRIETES PHYSIQUES | 111 |
| 1- Matériaux conducteurs | 111 |
| 1.1. Rappels | 111 |
| 1.2. Loi de Wiedemann-Franz | 112 |
| 1.3. Modèle de Sommerfeld | 113 |
| 1.4. Statistique de Fermi-Dirac | 117 |
| 1.5. Modèle des bandes d'énergie | 119 |
| 1.6. Conducteurs, isolants et semiconducteurs | 121 |
| 2- Matériaux semiconducteurs | 123 |
| 2.1. Zones de Brillouin | 123 |
| 2.2. Masse effective, conduction par électrons et trous | 125 |
| 2.3. Bandes d'énergie dans un cristal tridimensionnel | 127 |
| 2.4. Densité d'états dans les bandes permises | 128 |
| 3- Matériaux diélectriques | 129 |

| | |
|--|------------|
| 3.1. Propriétés des diélectriques | 129 |
| 3.2. Interprétation physique de la polarisation électrique | 130 |
| 3.3. Piézoélectricité | 132 |
| 3.4. Ferroélectricité | 133 |
| 4- Matériaux magnétiques | 134 |
| 4.1. Induction magnétique | 134 |
| 4.2. Diamagnétisme et paramagnétisme | 135 |
| 4.3. Ferromagnétisme | 136 |
| 5- Exercices | 143 |
| Chapitre VII - ATOMES ETRANGERS DANS LES SOLIDES CRISTALLINS | 145 |
| 1- Solutions solides | 145 |
| 1.1. Types de solutions solides | 145 |
| 1.2. Solutions d'insertion | 146 |
| 1.3. Solutions de substitution | 149 |
| 1.4. Solutions solides ordonnées | 149 |
| 1.5. Phases intermédiaires | 150 |
| 2- Diffusion dans les solides | 151 |
| 2.1. Diffusion et autodiffusion | 151 |
| 2.2. Equations de Fick | 152 |
| 2.3. Solutions des équations de Fick | 154 |
| 3- Exercices | 155 |
| Chapitre VIII - ETUDE EXPERIMENTALE DES MICROSTRUCTURES | 157 |
| 1- Matérialographie optique | 157 |
| 2- Microscopies électroniques | 159 |
| 2.1. Microscopes électroniques à transmission | 159 |
| 2.2. Microscopes électroniques à balayage | 160 |
| 3- Rayons X | 162 |
| 3.1. Nature des rayons X | 162 |
| 3.2. Production des rayons X | 162 |
| 3.3. Etude spectrale du rayonnement X | 163 |
| 3.4. Interaction des rayons X avec la matière | 165 |
| 4- Radiographie industrielle | 168 |
| 5- Diffraction des rayons X par les cristaux | 169 |
| 5.1. Diffusion des rayons X par les électrons | 169 |
| 5.2. Loi de Bragg | 170 |
| 5.3. Facteur de structure d'un cristal | 171 |
| 5.4. Méthodes de la radiocristallographie | 173 |
| 6- Vers d'autres techniques | 177 |
| 6.1. Analyse des matériaux vitreux | 177 |
| 6.2. Utilisation des neutrons | 177 |
| 6.3. Utilisation de la lumière infrarouge | 178 |
| 7- Exercices | 179 |
| Partie B : TRANSITIONS DE PHASES DANS LES MATERIAUX | |
| Chapitre IX - THERMODYNAMIQUE ET TRANSITIONS | 181 |
| 1- Eléments de thermodynamique | 181 |
| 1.1. Rappels des fondements de la thermodynamique | 181 |
| 1.2. Propriétés de l'enthalpie libre | 182 |
| 1.3. Energie superficielle | 183 |
| 2- Définitions des transitions | 184 |
| 2.1. Présentation des transitions | 184 |
| 2.2. Classification des transitions | 185 |
| 3- Equilibres de phases | 186 |
| 3.1. Règle des phases | 186 |
| 3.2. Etude expérimentale de la solidification d'un matériau cristallin | 187 |

| | |
|--|------------|
| 4- Germination | 188 |
| 4.1. Germination homogène | 188 |
| 4.2. Germination hétérogène | 189 |
| 5- Exercices | 190 |
| Chapitre X - SOLIDIFICATION ET TRANSFORMATIONS A L'ETAT SOLIDE | 191 |
| 1- Diagrammes de solidification d'un alliage | 191 |
| 1.1. Principe | 191 |
| 1.2. Règles de lecture des diagrammes de solidification | 192 |
| 2- Principaux diagrammes de solidification | 193 |
| 2.1. Solution solide illimitée | 193 |
| 2.2. Transformation eutectique | 194 |
| 2.3. Transformation péritectique | 195 |
| 2.4. Formation d'une combinaison chimique du type A_xB_y | 197 |
| 2.5. Remarques | 198 |
| 3- Mécanismes de solidification | 198 |
| 3.1. Hétérogénéités des solutions solides | 198 |
| 3.2. Coefficient de ségrégation | 199 |
| 3.3. Microstructures de solidification des alliages | 200 |
| 3.4. Application de la ségrégation à la purification des matériaux | 204 |
| 4- Systèmes ternaires | 205 |
| 4.1. Représentation des diagrammes ternaires | 205 |
| 4.2. Formes des diagrammes ternaires | 206 |
| 5- Transformations à l'état solide | 208 |
| 5.1. Transformations allotropiques | 208 |
| 5.2. Réactions de précipitation | 210 |
| 5.3. Transformations eutectoïdes | 212 |
| 5.4. Solubilité partielle à basse température | 212 |
| 5.5. Ecrouissage et recristallisation | 213 |
| 5.6. Transformations martensitiques | 216 |
| 6- Obtention de solides par frittage | 217 |
| 7- Exercices | 218 |
| Chapitre XI - TRANSITION VITREUSE | 221 |
| 1- Introduction | 221 |
| 2- Transition vitreuse | 223 |
| 2.1. Volume spécifique et température | 223 |
| 2.2. Volume libre | 224 |
| 3- Autres transitions | 225 |
| 4- Exercices | 226 |
| Partie C : ESSAIS MECANQUES ET LOIS DE COMPORTEMENT DES MATERIAUX | |
| Chapitre XII - ESSAIS MECANQUES | 227 |
| 1- Essais de dureté | 228 |
| 2- Essais de traction | 229 |
| 2.1. Machines et appareils de mesure des déformations | 229 |
| 2.2. Rigidité des machines de traction | 230 |
| 2.3. Eprouvettes de traction | 232 |
| 2.4. Formes générales des courbes de traction | 232 |
| 2.5. Courbes rationnelles de traction | 234 |
| 3- Autres essais mécaniques | 235 |
| 3.1. Essais de compression | 235 |
| 3.2. Essais de flexion | 235 |
| 4- Exercices | 236 |
| Chapitre XIII - RHEOLOGIE | 237 |

| | |
|---|------------|
| 1- Comportements élastique et viscoélastique | 238 |
| 1.1. Solides élastiques | 238 |
| 1.2. Matériaux visqueux | 240 |
| 1.3. Solides viscoélastiques | 241 |
| 1.4. Equivalence temps-température dans les polymères | 244 |
| 2- Comportements plastique et viscoplastique | 245 |
| 2.1. Solides plastiques | 245 |
| 2.2. Solides viscoplastiques | 246 |
| 2.3. Lois du fluage | 247 |
| 3- Comportement élastoplastique | 252 |
| 3.1. Ecouissage monotone | 252 |
| 3.2. Ecouissage cyclique et accommodation | 253 |
| 3.3. Critères de plasticité | 255 |
| 3.4. Limite élastique des polycristaux | 255 |
| 3.5. Plasticité discontinue | 256 |
| 3.6. Effet Bauschinger | 257 |
| 4- Exercices | 257 |
| <i>Chapitre XIV - ENDOMMAGEMENT ET RUINE DES MATERIAUX</i> | 259 |
| 1- Endommagement des matériaux | 259 |
| 2- Rupture ductile et rupture fragile | 262 |
| 2.1. Caractères des ruptures ductile et fragile | 262 |
| 2.2. Transition ductile-fragile | 264 |
| 3- Mécanique de la rupture et ténacité | 267 |
| 3.1. Introduction | 267 |
| 3.2. Théorie de la rupture de Griffith | 268 |
| 3.3. Contraintes au voisinage d'une fissure chargée | 270 |
| 3.4. Condition de propagation des fissures | 272 |
| 3.5. Mécanismes de propagation des fissures | 273 |
| 3.6. Méthodes de mesure de K_{Ic} | 274 |
| 3.7. Maîtrise de la rupture fragile | 275 |
| 3.8. Cas des céramiques, statistique de Weibull | 276 |
| 4- Rupture par fluage | 278 |
| 5- Endommagement et rupture par fatigue | 279 |
| 5.1. Caractères des ruptures de fatigue | 279 |
| 5.2. Lois générales de la fatigue | 281 |
| 5.3. Dispersion statistique des ruptures de fatigue | 282 |
| 5.4. Paramètres de la tenue en fatigue | 283 |
| 5.5. Fatigue oligocyclique | 284 |
| 5.6. Interprétation physique de la fatigue | 285 |
| 5.7. Essais de fatigue | 289 |
| 6- Exercices | 292 |
| Solutions des exercices | 293 |
| Pour en savoir plus... | 308 |
| Index | 309 |