

Table des matières

| | |
|--|----|
| Avant-propos | 1 |
| Introduction. La révolution numérique | 7 |
| Chapitre 1. Les circuits intégrés | 23 |
| 1.1. Les circuits intégrés : présentation | 24 |
| 1.1.1. Les circuits (de fonctions) logiques | 24 |
| 1.1.2. Les circuits (de fonctions) analogiques | 25 |
| 1.2. L'invention du « circuit intégré » | 25 |
| 1.2.1. Les précurseurs | 25 |
| 1.2.2. L'invention de Jack Kilby | 27 |
| 1.2.3. Le brevet de Robert Noyce | 31 |
| 1.2.4. L'invention de Lehovec | 35 |
| 1.3. Les développements industriels | 36 |
| 1.3.1. Les circuits hybrides | 36 |
| 1.3.2. Les circuits intégrés de fonctions logiques | 36 |
| 1.3.2.1. Les circuits de fonctions logiques RTL, DTL et TTL | 37 |
| 1.3.2.2. Les premiers circuits intégrés commerciaux | 38 |
| 1.3.3. Les microprocesseurs. | 42 |
| 1.3.4. Les circuits analogiques | 43 |
| 1.4. Les technologies des circuits intégrés | 48 |
| 1.4.1. Conception des circuits intégrés et réalisation des photomasques | 48 |
| 1.4.2. Le processus de réalisation | 48 |

| | |
|--|-----------|
| 1.4.3. Les technologies. | 50 |
| 1.4.3.1. La couche épitaxiale de silicium. | 50 |
| 1.4.3.2. Le masque (<i>oxide masking and patterning</i>) | 51 |
| 1.4.3.3. La photolithographie. | 51 |
| 1.4.3.4. La gravure (<i>selective etching</i>) | 52 |
| 1.5. Bibliographie. | 54 |
| Chapitre 2. Les mémoires. | 57 |
| 2.1. Introduction. | 57 |
| 2.2. Les mémoires SRAM. | 58 |
| 2.2.1. Les cellules et leur fonctionnement | 58 |
| 2.2.2. Historique | 62 |
| 2.2.3. Les développements industriels. | 64 |
| 2.3. Les mémoires DRAM. | 65 |
| 2.3.1. La cellule Intel 1103 | 65 |
| 2.3.2. La cellule DRAM à un transistor. | 66 |
| 2.4. Les mémoires de stockage | 69 |
| 2.4.1. Les mémoires ROM | 69 |
| 2.4.2. Les mémoires EPROM et EEPROM | 71 |
| 2.4.2.1. Historique | 71 |
| 2.4.2.2. Le transistor MOSFET à grille flottante | 72 |
| 2.4.2.3. Principe de fonctionnement du transistor MOSFET à grille flottante et grille de contrôle | 72 |
| 2.4.2.4. La mémoire EPROM | 73 |
| 2.4.2.5. La mémoire EEPROM, mémoire Flash. | 74 |
| 2.5. Bibliographie. | 77 |
| Chapitre 3. Les écrans à cristaux liquides. | 79 |
| 3.1. Historique. | 79 |
| 3.1.1. Le transistor à effet de champ direct de Lilienfeld. | 79 |
| 3.1.2. Le transistor TFT de Welker | 80 |
| 3.1.3. Les recherches poursuivies par Bardeen, Brattain et Gibney sur l'effet de champ direct. | 80 |
| 3.1.4. Le transistor à effet de champ direct de Weimer. | 81 |
| 3.2. Le transistor TFT à film de silicium amorphe. | 82 |
| 3.3. Les écrans à cristaux liquides (LCD) (<i>liquid crystal display</i>) | 85 |
| 3.3.1. Historique | 85 |
| 3.3.2. Structure et fonctionnement d'un écran à cristaux liquides | 86 |
| 3.4. Bibliographie. | 88 |

| | |
|---|----------------|
| Chapitre 4. Les cellules solaires | 91 |
| 4.1. Introduction. | 92 |
| 4.2. Le silicium : le matériau des cellules solaires. | 93 |
| 4.3. Historique. | 95 |
| 4.4. Le rayonnement solaire et son absorption | 99 |
| 4.4.1. Le rayonnement solaire | 99 |
| 4.4.2. L'absorption de l'énergie lumineuse. | 100 |
| 4.4.3. Le rendement quantique | 102 |
| 4.5. Les cellules solaires en silicium cristallin | 103 |
| 4.5.1. La technologie de réalisation | 103 |
| 4.5.2. Bases physiques du fonctionnement | 104 |
| 4.5.3. Courbe caractéristique | 106 |
| 4.5.4. Rendement de conversion de l'énergie solaire en électricité. | 108 |
| 4.5.4.1. Cas du germanium | 109 |
| 4.6. Action des impuretés métalliques sur le rendement de conversion solaire | 110 |
| 4.6.1. Durée de vie et longueur de diffusion des « électrons » : influence du dopage. L'effet <i>gettering</i> | 110 |
| 4.6.2. Cellules monocristallines | 111 |
| 4.6.3. Cellules polycristallines | 113 |
| 4.7. Cellules solaires en silicium amorphe | 114 |
| 4.8. Procédés de production de silicium solaire | 115 |
| 4.8.1. Production de polysilicium électronique (Si-EG) dans un réacteur à lit fluidisé | 115 |
| 4.8.2. Réalisation des lingots polycristallins colonnaires. | 116 |
| 4.8.3. Purification du silicium métallurgique par procédés métallurgiques | 118 |
| 4.9. Bibliographie. | 119 |
| Chapitre 5. Les capteurs photographiques numériques | 123 |
| 5.1. Introduction. | 124 |
| 5.2. Les capteurs CCD | 124 |
| 5.2.1. Constitution d'un capteur CCD. | 124 |
| 5.2.2. Structure d'un pixel CCD et rendement quantique | 125 |
| 5.2.2.1. Pixel CCD épais et pixel CCD aminci | 126 |
| 5.2.2.2. Pixel CCD à canal en surface et pixel CCD à canal enterré | 128 |
| 5.2.3. Structure d'une cellule CCD et transfert de charges. | 128 |
| 5.2.4. Circuit de lecture | 130 |
| 5.3. Capteurs CMOS-APS à pixels actifs | 130 |

| | |
|--|------------|
| 5.4. Historique | 131 |
| 5.5. Bibliographie | 134 |
| Chapitre 6. Les microsystèmes électromécaniques | 137 |
| 6.1. Pièces pour la mécanique de précision | 138 |
| 6.2. Les MEMS : les capteurs et actionneurs | 139 |
| 6.2.1. Présentation | 139 |
| 6.2.2. Historique | 141 |
| 6.2.3. Le silicium : le matériau des MEMS | 142 |
| 6.3. Les bases physiques de fonctionnement des MEMS | 145 |
| 6.3.1. Les capteurs | 145 |
| 6.3.1.1. La détection piézorésistive | 145 |
| 6.3.1.2. La détection piézoélectrique | 146 |
| 6.3.1.3. La détection capacitive | 146 |
| 6.3.2. Les actionneurs | 148 |
| 6.3.3. Résonateurs microélectromécaniques | 150 |
| 6.4. Quelques exemples de MEMS | 153 |
| 6.4.1. Capteur de pression à membrane (diaphragme) déformable et jauge piézorésistive | 153 |
| 6.4.2. Capteur résonnant gravimétrique à poutre vibrante | 153 |
| 6.4.3. Microphone : capteur acoustique capacitif | 154 |
| 6.4.4. MEMS inertiels : accéléromètres et gyroscopes | 155 |
| 6.4.4.1. L'accéléromètre | 155 |
| 6.4.4.2. Le gyroscope | 157 |
| 6.4.5. Micromoteurs | 159 |
| 6.5. Technologies de fabrication des MEMS | 161 |
| 6.5.1. Micro-usinage de volume | 161 |
| 6.5.1.1. Gravure chimique humide | 162 |
| 6.5.1.2. Gravure ionique réactive profonde | 162 |
| 6.5.2. Micro-usinage de surface | 165 |
| 6.5.3. Processus de fabrication de structures | 166 |
| 6.6. Bibliographie | 167 |
| Index des noms propres | 171 |
| Index des noms communs | 173 |
| Sommaire de <i>Le silicium, du sable aux puces 1</i> | 177 |