

Table des matières

Avant-propos	1
Alessandro CRESTI	
Chapitre 1. Transistors à effet tunnel basés sur des semi-conducteurs III-V	5
Marco PALA	
1.1. Introduction.	5
1.2. Expérimentations	7
1.3. Simulation des TFET à base de III-V	10
1.3.1. Le modèle k.p dans le formalisme NEGF.	11
1.4. Mécanismes de dégradation des SS.	14
1.4.1. Intégrité électrostatique	14
1.4.2. Effet tunnel assisté par trappe.	17
1.4.3. Rugosité de la surface	20
1.5. Stratégies d'amélioration du courant de l'état ON	22
1.5.1. Contrainte	22
1.5.2. Hétérostructures de type III	25
1.5.3. Classification de la fraction molaire du matériau de base	28
1.6. Conclusion	30
1.7. Bibliographie.	31
Chapitre 2. Transistors à effet de champ basés sur des matériaux 2D : perspective de modélisation.	37
Mathieu LUISIER, Cedric KLINKERT, Sara FIORE, Jonathan BACKMAN, Youseung LEE, Christian STIEGER et Áron SZABÓ	
2.1. Introduction.	37
2.1.1. L'avenir de la loi de Moore	37

2.1.2. Le potentiel des matériaux 2D	42
2.2. Approche de modélisation	46
2.2.1. Exigences et état de l'art.	46
2.2.2. Fonctions de Wannier maximale-ment localisées (MLWF).	48
2.2.3. Vers des simulations <i>ab initio</i> de transport quantique.	50
2.3. Analyse des performances des dispositifs 2D.	53
2.3.1. Le MoS ₂ et les autres TMD	53
2.3.2. Nouveaux matériaux 2D	56
2.4. Défis et opportunités	64
2.4.1. Contacts électriques entre métaux et monocouches 2D.	64
2.4.2. Facteurs limitant la mobilité en 2D	66
2.4.3. Oxydes 2D	68
2.4.4. Concepts de logique avancée	69
2.5. Conclusion	71
2.6. Remerciements.	71
2.7. Bibliographie.	71

Chapitre 3. Transistors à effet de champ à capacité négative. 83

Wei CAO et Kaustav BANERJEE

3.1. Introduction.	83
3.2. L'essor des NC-FET	84
3.3. Comprendre les NC-FET à partir de zéro	88
3.3.1. Électrostatique dans un NC-FET générique	88
3.3.2. Formulation de la pente de commutation d'un NC-FET générique.	90
3.4. Défis fondamentaux des NC-FET.	92
3.4.1. Impact du NC sur les performances des FET.	92
3.4.2. Impact de la capacité quantique sur les NC-FET	95
3.5. Conception et optimisation de NC-FET	96
3.5.1. Conception de NC-FET dans la limite de la capacité quantique	96
3.5.2. Le rôle de la non-linéarité du NC.	98
3.5.3. IMG : emprunt de charges parasites pour la polarisation en NC.	100
3.5.4. Un rôle pratique des NC pour les FET : économiseur de perte de tension	102
3.6. Annexe : une règle pour l'interprétation du SS subthermique basée sur la dynamique de polarisation	106
3.7. Bibliographie.	107

Chapitre 4. Z2FET à zéro ionisation par impact et zéro pente sous le seuil	113
Joris LACORD	
4.1. Introduction.	113
4.2. Fonctionnement en régime permanent du Z2FET	116
4.2.1. Démonstration de la commutation abrupte du Z2FET	117
4.2.2. Caractéristique courant-tension « en forme de S » du Z2FET	119
4.2.3. Description détaillée du Z2FET	120
4.3. Modèle analytique et compact du Z2FET en régime permanent.	129
4.3.1. Modèle analytique de courant de drain en régime permanent du Z2FET	129
4.3.2. Évaluation analytique de la tension de commutation du Z2FET	132
4.3.3. Modèle compact Z2FET	135
4.4. Démonstration expérimentale Z2FET	137
4.4.1. Fabrication du Z2FET	137
4.4.2. Caractéristique de commutation du Z2FET sous balayage de la tension de grille	138
4.4.3. Caractéristique de commutation du Z2FET sous balayage de la tension de drain.	138
4.5. Z2FET comme 1T-DRAM.	139
4.5.1. Description du fonctionnement de la cellule 1T-DRAM Z2FET	139
4.5.2. Preuve expérimentale du fonctionnement de la cellule 1T-DRAM Z2FET	140
4.6. Optimisation de la structure Z2FET	144
4.6.1. Z2FET DGP	144
4.6.2. Z3FET	146
4.7. Applications amont de Z2FET	147
4.7.1. Z2FET comme protection ESD.	147
4.7.2. Z2FET comme commutateur logique (<i>logic switch</i>)	148
4.7.3. Z2FET comme photodétecteur	149
4.8. Conclusion	150
4.9. Bibliographie.	151
Chapitre 5. La spintronique bidimensionnelle	155
Matthieu JAMET, Diogo C. VAZ, Juan F. SIERRA, Josef SVĚTLÍK, Sergio O. VALENZUELA, Bruno DLUBAK, Pierre SENEOR, Frédéric BONELL et Thomas GUILLET	
5.1. Introduction.	155
5.2. Spintronique dans les gaz de Rashba 2D aux surfaces/interfaces d'oxydes	156

5.2.1. Conductivité 2D émergente aux interfaces d'oxydes	157
5.2.2. Interactions spin-orbite de Rashba	159
5.2.3. Conversion du courant de spin en courant de charge dans les 2DEG d'oxyde	160
5.2.4. Applications et perspectives des dispositifs.	163
5.3. Spintronique dans les dispositifs latéraux à spin dans les matériaux 2D	166
5.3.1. Introduction	166
5.3.2. Injection et détection de spin	168
5.3.3. Précession de spin.	169
5.3.4. Mécanismes de relaxation du spin	170
5.3.5. Transport de spin dans les hétérostructures de van der Waals	172
5.4. Matériaux 2D dans les jonctions tunnel magnétiques	175
5.4.1. Introduction	175
5.4.2. Premiers pas vers l'intégration de matériaux 2D dans les jonctions tunnel magnétiques	177
5.4.3. Dispositifs exfoliés et transférés : premiers résultats	179
5.4.4. Dispositifs exfoliés et transférés : amélioration par la définition <i>in situ</i>	181
5.4.5. Croissance directe par CVD : l'essor de la grande échelle et de la haute qualité	182
5.4.6. Preuves expérimentales du filtrage de spin basé sur le 2D dans les MTJ hybrides en 2D.	183
5.4.7. Conclusion	186
5.5. Les isolants topologiques en spintronique.	186
5.5.1. Introduction	186
5.5.2. Verrouillage spin-moment et interconversion spin-charge.	188
5.5.3. Matériaux, interfaces et méthodes de fabrication	191
5.5.4. Mesures de l'interconversion spin-charge	193
5.5.5. Conclusion	196
5.6. Bibliographie.	197

Chapitre 6. Valléetronique dans les matériaux 2D 215

Steven A. VITALE

6.1. Introduction.	215
6.2. Physique de l'exciton et de la vallée	216
6.2.1. Introduction aux vallées et aux excitons.	217
6.2.2. Physique de la vallée	220
6.2.3. Couplage spin-orbite et excitons exotiques.	227

6.3. Durée de vie, transport et exploitation de la vallée.	229
6.3.1. Durée de vie des vallées	229
6.3.2. Transport en vallée	235
6.3.3. Opérations en vallée	236
6.4. Dispositifs et matériaux vallétroniques	240
6.5. Informatique vallétronique	245
6.5.1. Calcul classique : puissance et performance	246
6.5.2. Informatique classique : architecture	248
6.5.3. Informatique quantique	250
6.5.4. Perspectives	251
6.6. Bibliographie.	252

Chapitre 7. Électronique moléculaire : transport d'électrons, de spins et de chaleur 259

Dominique VUILLAUME

7.1. Introduction.	259
7.2. Comment réaliser une jonction moléculaire ?	260
7.3. Transport d'électrons dans les dispositifs moléculaires : retour aux fondamentaux	262
7.4. Transport d'électrons : DC et basse fréquence	264
7.5. Transport d'électrons à haute fréquence	270
7.6. Transport d'électrons dépendant du spin dans les jonctions moléculaires	271
7.7. Plasmonique électronique moléculaire	275
7.8. Interférence quantique et transport thermique	277
7.9. Bruit dans les jonctions moléculaires.	282
7.10. Conclusion	286
7.11. Bibliographie	287

Chapitre 8. Électronique quantique supraconductrice 301

Sasan RAZMKHAH et Pascal FEBVRE

8.1. Introduction.	301
8.1.1. Un aperçu historique	301
8.1.2. La jonction Josephson	303
8.1.3. Les dispositifs d'interférence quantique supraconducteurs (SQUID)	309
8.1.4. L'émergence de l'électronique supraconductrice	313
8.2. L'électronique passive supraconductrice	314
8.2.1. L'impédance de surface des supraconducteurs.	314
8.2.2. Les guides d'ondes et lignes de transmission supraconducteurs	316

8.2.3. Les antennes supraconductrices	320
8.2.4. Les filtres supraconducteurs.	321
8.2.5. Les commutateurs micro-ondes.	321
8.3. Les détecteurs supraconducteurs	322
8.3.1. Les capteurs <i>transition-edge</i> (TES)	323
8.3.2. Les détecteurs de photons uniques à nanofils supraconducteurs (SNSPD)	324
8.3.3. Les détecteurs à inductance cinétique (KID)	325
8.4. L'électronique numérique supraconductrice	326
8.4.1. La logique à quantum à flux unique (SFQ)	328
8.4.2. La logique adiabatique paramétrique à quantum de flux (AQFP)	342
8.4.3. Vers l'informatique supraconductrice	344
8.4.4. L'informatique neuromorphique quantique en mémoire	347
8.4.5. Outils de conception assistée par ordinateur (CAO)	350
8.5. L'informatique quantique supraconductrice.	351
8.5.1. Approche épistémologique	351
8.5.2. Les bits quantiques supraconducteurs (qubits)	363
8.5.3. Sources de décohérence dans les qubits	367
8.5.4. Système d'interface de qubits à base de jonctions Josephson	368
8.5.5. La cavité à qubit.	371
8.6. Le refroidissement cryogénique.	373
8.7. Bibliographie.	376

Chapitre 9. Les puces photoniques 395

Frank BRÜCKERHOFF-PLÜCKELMANN, Johannes FELDMANN
et Wolfram PERNICE

9.1. Introduction.	395
9.2. Les circuits nanophotoniques	396
9.2.1. Les guides d'ondes diélectriques	397
9.2.2. Les dispositifs photoniques de base	398
9.3. La photonique à changement de phase.	400
9.3.1. Dynamique de commutation des matériaux à changement de phase	400
9.3.2. Matériaux à changement de phase couplés à un guide d'ondes	401
9.4. Noyau tensoriel photonique	403
9.4.1. Opérations de multiplication et d'accumulation optiques	404
9.4.2. Conception du noyau tenseur photonique.	406
9.4.3. Calcul parallèle par multiplexage en longueur d'onde	407
9.4.4. Prototype de noyau tensoriel photonique	409

9.5. Le réseau de neurones artificiels optiques	411
9.5.1. Les réseaux neuronaux artificiels.	411
9.5.2. L'unité d'activation non linéaire	413
9.5.3. Le prototype d'un neurone optique.	415
9.6. Enjeux et perspectives	417
9.7. Bibliographie.	418
Liste des auteurs.	423
Index	427