

# **UNIVERSITE DE LIMOGES**

**ECOLE DOCTORALE Science – Technologie – Santé**

**FACULTE des Sciences et Techniques de Limoges**

**XLIM – Département MINACOM**

**Thèse N° 59-2008**

## **Thèse**

**pour obtenir le grade de**

**Docteur de l'Université de Limoges**

**Discipline : Electronique des Hautes Fréquences et Optoélectronique**

**Présentée et soutenue par**

**Auteur EL AMRANI**

**Etude des comportements statique et dynamique de  
dispositifs photo-transistor et photocoupleur organiques**

**Thèse dirigée par MM. Bruno LUCAS et André MOLITON**

**Le 30 Octobre 2008**

### **JURY :**

#### **Rapporteurs :**

**M. Louis GIRAUDET**

**Professeur - LMEN Reims**

**M. Jean-Paul PARNEIX**

**Professeur - IMS Bordeaux I**

#### **Examineurs :**

**M. Christophe DEFRANOUX**

**Ingénieur - SOPRA –SA Bois Colombes**

**M. Bernard GEFFROY**

**Ingénieur - LPICM Palaiseau**

**M. Bruno LUCAS**

**Maître de conférence HDR – XLIM Limoges**

**M. André MOLITON**

**Professeur – XLIM Limoges**

**M. Bernard RATIER**

**Professeur – XLIM Limoges**

# Sommaire

## Chapitre I : Généralités et mise au point bibliographique sur la photoconductivité et sur les phototransistors organiques

INTRODUCTION GENERALE .....	1
I QUELQUES DONNEES SUR LA LUMIERE : .....	7
II LES MATERIAUX ORGANIQUES CONJUGUES ET LES PHENOMENES PHYSIQUES A L'ECHELLE DE LA MOLECULE : <sup>[1]</sup> .....	8
II.1 Les polymères et les petites molécules conjugués : .....	8
II.2 Origine du caractère semiconducteur dans les organiques : .....	12
II.3 Structure électronique et de bandes des solides moléculaires: .....	14
II.4 Processus optiques à l'échelle moléculaire : notion d'excitons <sup>[2]</sup> .....	16
III TRANSPORT DES CHARGES DANS LES SEMICONDUCTEUR ORGANIQUES : .....	18
IV COMPOSANTS POUR L'OPTOELECTRONIQUE ORGANIQUE : DE LA CELLULE PHOTOCONDUCTRICE AU PHOTOTRANSISTOR .....	20
IV.1 Généralités sur la photodétection : .....	20
IV.2 Principe d'une cellule photoconductrice et définition de la photoconductivité : ..	21
IV.3 Taux de génération G, taux de recombinaison R et durée de vie des porteurs : <sup>[1]</sup> .....	25
IV.3.1 Définition de G et de R : .....	25
IV.3.2 Etude de la variation de la concentration des porteurs : .....	26
IV.4 Gain en photocourant : .....	28
IV.5 Les phototransistors organiques : .....	29
IV.5.1 Résultats sur les phototransistors issus de recherches bibliographiques : .....	29
IV.5.2 Présentation et caractéristiques du transistor organique : .....	33
a. Présentation du transistor organique film mince (OTFT) : .....	33
b. Tension de seuil (en V) et mobilité (en $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) des porteurs de charges : .....	35
c. Gain en courant ( $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ ) et inverse de la pente sous le seuil (S) : .....	37
IV.5.3 Modes de fonctionnement des phototransistors organiques : .....	38

# Chapitre II : Réalisation d'oxydes conducteurs et transparents (ITO et ZnO) par IBS pour composants optoélectroniques organiques

<b>I</b>	<b>QUELQUES GENERALITES SUR LES OTCS ETUDIES :</b> .....	<b>43</b>
I.1	Oxyde d'indium et d'étain : ITO .....	43
I.2	Oxyde de Zinc : ZnO.....	44
<b>II</b>	<b>PRINCIPE ET DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE IBS POUR LE DEPOT D'OTCS :</b> .....	<b>45</b>
II.1	Principe de la technologie IBS : .....	45
II.2	La Source ECR (Electron Cyclotron Resonance) : .....	47
II.3	L'enceinte à vide : .....	49
<b>III</b>	<b>DESCRIPTION DES METHODES D'ANALYSE ET DE CARACTERISATIONS DES COUCHES MINCES :</b> .....	<b>49</b>
III.1	Caractérisations électriques : Mesure de la conductivité et de la résistance carrée.....	49
III.2	Caractérisations optiques :.....	50
III.2.1	Mesure du coefficient d'absorption et du gap optique :.....	50
III.2.2	Mesure de l'indice de réfraction par ellipsométrie : .....	51
III.3	Caractérisations morphologique et structurale : .....	52
III.3.1	Mesure de la rugosité de surface par AFM : .....	52
III.3.2	Analyse par diffraction de rayon X (DRX) :.....	53
<b>IV</b>	<b>CARACTERISATIONS ELECTRIQUE, OPTIQUE, MORPHOLOGIQUE ET STRUCTURALE DES COUCHES MINCES D'ITO :<sup>[1]</sup></b> .....	<b>53</b>
IV.1	Effet du flux d'oxygène sans chauffage du substrat : .....	55
IV.2	Effet de la température de substrat pendant la croissance du film assisté par un flux d'oxygène (1cm <sup>3</sup> /min) :.....	57
IV.3	Effet de l'épaisseur de films d'ITO thermiquement activés (130°C) et assistés par un flux d'oxygène (1cm <sup>3</sup> /min) : .....	61
IV.4	Effet d'une sous-couche de ZnO :.....	64
IV.4.1	Caractérisations électrique, optique et structurale de couches de ZnO :.....	65
IV.4.2	Propriétés électrique, optique et cristalline de bicouches ITO/ZnO : .....	68
<b>V</b>	<b>PERFORMANCES DES OLEDs AVEC UNE ANODE ITO/ZNO :</b> .....	<b>71</b>

<b>V.1</b>	<b>Principe de l'électroluminescence :</b> .....	<b>71</b>
<b>V.2</b>	<b>Procédés de réalisation et de caractérisation des diodes électroluminescentes :..</b>	<b>72</b>
V.2.1	Nettoyage de l'anode : .....	72
V.2.2	Techniques de dépôt des couches organiques et dispositifs expérimentaux :.....	72
a.	Dépôt à la tournette ou « spin-coating »:.....	73
b.	Dépôt en phase vapeur : .....	73
c.	Support d'échantillons pour le dépôt en phase vapeur :.....	74
d.	Masque de dépôt de la cathode : .....	75
V.2.3	Cellule de mesure :.....	76
<b>V.3</b>	<b>Caractéristiques I(V) et L(V) d'OLEDs obtenues avec une anode ITO (150nm)/ZnO(Xnm) :</b> .....	<b>77</b>
<b>VI</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES :</b> .....	<b>80</b>

## **Chapitre III : Elaboration et caractérisation de composants phototransistors à base de pentacène**

<b>I</b>	<b>INTRODUCTION :</b> .....	<b>85</b>
<b>II</b>	<b>MATERIAUX UTILISES ET DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE POUR LA CARACTERISATION DE CELLULES PHOTOCONDUCTRICES ET DE PHOTOTRANSISTORS :</b> .....	<b>86</b>
<b>II.1</b>	<b>Matériaux organiques utilisés :</b> .....	<b>86</b>
<b>II.2</b>	<b>Description du banc expérimental de caractérisations :</b> .....	<b>87</b>
<b>II.3</b>	<b>Paramètres caractéristiques des phototransistors :<sup>II</sup></b> .....	<b>88</b>
II.3.1	Gain en photocourant (ou photosensibilité) : .....	89
II.3.2	Sensibilité et efficacité quantique : .....	89
II.3.3	Temps de réponses : .....	89
<b>III</b>	<b>ETUDE PRELIMINAIRE : OPTIMISATION ET CARACTERISATION D'UN MATERIAU PHOTOCONDUCTEUR, LE PENTACENE</b> .....	<b>90</b>
<b>III.1</b>	<b>Propriétés morphologique, cristalline et optique du pentacène :</b> .....	<b>90</b>
III.1.1	Analyses AFM et diffraction par rayon X :.....	90
III.1.2	Détermination de l'énergie du gap du pentacène ( $E_g$ ) à partir de la mesure du coefficient d'absorption ( $\alpha$ ) : .....	92
<b>III.2</b>	<b>Caractérisations de dispositifs photoconducteurs organiques en configuration « bottom contact » ou « top contact » :</b> .....	<b>93</b>
III.2.1	Caractérisations photoélectriques en géométrie « bottom contact » :.....	95
III.2.1.1	Cas où l'énergie des photons est légèrement supérieure à celle du gap du pentacène (1,8eV) : éclairnement dans le rouge à 632nm (1,96eV) .....	95

III.2.1.2 Cas où l'énergie des photons est très supérieure à celle du gap du pentacène (1,8eV) : éclairement sous UV à 365nm (3,4eV).....	96
III.2.2 Caractérisations photoélectriques en géométrie « top contact » :.....	97
III.2.2.1 Cas où l'énergie des photons est légèrement supérieure à celle du gap du pentacène (1,8eV) : éclairement dans le rouge à 632nm (1,96eV).....	97
III.2.2.2 Cas où l'énergie des photons est très supérieure à celle du gap du pentacène (1,8eV) : éclairement sous UV à 365nm (3,4eV).....	98
III.2.3 Caractéristiques dynamiques en géométrie «top contact» :.....	99
<b>IV ELABORATION ET CARACTERISATION DE PHOTOTRANSISTORS ORGANIQUES :.....</b>	<b>101</b>
<b>IV.1 Réalisation et optimisation des performances des transistors organiques à base de pentacène avec du PMMA comme isolant :.....</b>	<b>101</b>
IV.1.1 Effet de l'épaisseur du pentacène sur les performances de transistor :.....	102
IV.1.1.1 Propriétés morphologique et structurale de films de pentacène déposés sur du PMMA :.....	102
IV.1.1.2 Caractérisations électriques de transistors pour différentes épaisseurs de pentacène :.....	104
IV.1.2 Effet de la longueur du canal sur les performances du transistor :.....	106
IV.1.3 Détermination de la mobilité en fonction de la tension de grille :.....	108
IV.1.4 Etude de la stabilité du transistor à l'air ambiant :.....	110
<b>IV.2 Caractérisations de phototransistors organiques éclairés à 632nm et à 365nm :.....</b>	<b>112</b>
IV.2.1 Caractérisations électriques de transistors à films minces éclairé par un laser He-Ne à 632nm :.....	113
IV.2.2 Caractérisations électriques de transistors à films minces éclairés sous UV à 365nm :.....	116
<b>IV.3 Caractérisation d'un phototransistor à base de pentacène sur substrat plastique :.....</b>	<b>120</b>
<b>IV.4 Effet de l'éclairement UV de façon continue sur les caractéristiques d'un OTFT :.....</b>	<b>123</b>
<b>V EFFET DE L'INTENSITE LUMINEUSE SUR LES CARACTERISTIQUES D'UN TRANSISTOR ORGANIQUE :.....</b>	<b>128</b>
<b>VI CONCLUSION :.....</b>	<b>132</b>

## **Chapitre IV : Premiers résultats sur les Photocoupleurs « tout organiques »**

<b>I INTRODUCTION.....</b>	<b>137</b>
<b>II DESCRIPTION DES COMPOSANTS UTILISES ET DE L'APPAREILLAGE POUR LA CARACTERISATION DU DISPOSITIF PHOTOCOUPLEUR :.....</b>	<b>138</b>

II.1	Organigramme de la mise en oeuvre des photocoupleurs :.....	138
II.2	Description du banc expérimental de caractérisations :.....	140
III	<b>OPTIMISATION DU COUPLAGE D'OLEDS AVEC UN PHOTOCONDUCTEUR A BASE DE PENTACENE :<sup>II</sup></b> .....	<b>142</b>
III.1	<b>Couplage du photoconducteur avec une OLED à émission dans le vert :<sup>II</sup></b> .....	<b>144</b>
III.1.1	Etude en statique du couplage:.....	145
III.1.2	Etude en dynamique du couplage:.....	146
III.2	<b>Couplage du photoconducteur avec une OLED à émission dans le bleu :.....</b>	<b>147</b>
III.2.1	Réalisation de l'OLED à émission dans le bleu :.....	148
III.2.2	Optimisation et caractérisation de l'OLED à émission dans le bleu :.....	149
II.2.2.1	Effet de l'épaisseur de la couche émettrice ( $\alpha$ -NPB) sur les performances des OLEDs :.....	149
II.2.2.2	Effet de la couche de blocage (BCP) sur les performances de l'OLED :.....	151
III.2.3	Etude en statique du couplage :.....	153
III.2.4	Etude en dynamique du couplage :.....	154
IV	<b>CARACTERISATION D'UN PHOTOCOUPLEUR [OLED (550 NM) – OTFT] :</b>	<b>156</b>
V	<b>CONCLUSION :</b> .....	<b>159</b>
	Conclusion générale :.....	161
	<b>Bibliographie :</b> .....	<b>165</b>
	Chapitre I : .....	165
	Chapitre II : .....	168
	Chapitre III : .....	172
	Chapitre IV : .....	175