

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Normale Supérieure - Kouba - Alger

Département de Physique

THESE

Présentée par

Mme B E Y D a l i l a Née YAMANI
Ingénieur d'État en Électronique

Pour l'obtention du grade de

Magistère en Physique Appliquée

THEME

***ETUDE ET CARACTERISATION D'UN CAPTEUR
PYROELECTRIQUE A BASE D'UN POLYMERE POLAIRE
LE PVDF***

Soutenue le 03 Juillet 2008 , devant le jury :

M^r A. MERAGHNI	Pr	E.N.S Kouba	Président
M^r M. HADDADI	Pr	E.N.P	Examineur
M^r N. SAID	M.C	U.Saad Dahleb Blida	Examineur
M^r M. SAADI	M.C	U.M.B. Boumerdes	Examineur
M^r D. KENDIL	M.C	E.N.S Kouba	Rapporteur
M^r E. BOUSBIAT	M.C	C.T.A KSA	Invité

Cette thèse à été préparée au laboratoire L.S.I.C. ENS - Kouba – ALGER

مخبر الأنظمة المندمجة للواقظ - المدرسة العليا للأساتذة - القبة - الجزائر

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Notions fondamentales et état de l'art des détecteurs infrarouges.....	4
I.1 Notions fondamentales dans l'infrarouge.....	5
I.1.1 La découverte des rayonnements infrarouges.....	5
I.1.2 L'origine des rayonnements infrarouges.....	5
I.1.3 L'émission thermique des matériaux.....	6
I.1.3.1 L'émissivité du corps noir.....	6
I.1.3.2 L'émission des corps réels.....	8
I.1.4 Les méthodes de détection dans l'infrarouge.....	10
I.1.5 Propriétés spectrales des matériaux infrarouges	10
I.1.5.1 Influence de l'absorption atmosphérique.....	11
I.1.5.2 Les matériaux de l'optique infrarouge.....	12
I.2 Technologie des détecteurs dans l'infrarouge lointain : Etat de l'art.....	15
I.2.1 Les détecteurs quantiques	15
I.2.1.1 Les photodétecteurs (les photorésistances).....	15
I.2.1.2 Les détecteurs photovoltaïques (photodiodes).....	16
I.2.1.3 Principaux matériaux utilisés pour l'élaboration des détecteurs quantiques.....	16
I.2.1.4 Evolution des détecteurs refroidis.....	18
I.2.2 Les détecteurs thermiques.....	19
I.2.2.1 Les détecteurs bolométriques micro usinés.....	20
I.2.2.2 Les détecteurs thermoélectriques.....	21
I.2.2.3 Les détecteurs pyroélectriques.....	22
I.2.2.4 Détektivité spécifique des différents détecteurs infrarouges passifs.....	26
I.2.2.5 Croissances économiques et évolutions technologiques des détecteurs non refroidis.....	27
Conclusion.....	28
Chapitre II modélisation du capteur pyroélectrique	
II.1 Présentation du PVDF.....	29
II.1.1 Caractéristiques du PVDF.....	30
II.1.2 Structure cristalline du PVDF	30
II.1.3 Technologie du capteur	33
II.1.4 Polarisation du PVDF	33

II.2 Modélisation d'un capteur pyroélectrique	34
II.2.1 Modélisation thermique.....	35
II.2.2 Modélisation électrique.....	41
II.3 Expression du signal pyroélectrique.....	43
II.3.1 Détection du signal pyroélectrique.....	43
II.3.1.1 Détection en mode tension.....	44
II.3.1.2 Détection en mode courant.....	45
II.3.2 Expression du signal pyroélectrique pour un capteur formé uniquement du matériau pyroelectrique.....	46
II.3.2.1 Mode tension.....	46
II.3.2.2 Mode courant	47
II.3.3 Expression du signal pyroélectrique pour un détecteur multicouche.....	47
II.3.3.1 Structure générale d'un détecteur pyroélectrique multicouche	47
II.3.3.2 Équation de diffusion de la chaleur.....	48
II.4 Facteurs de mérite d'un détecteur pyroélectrique	52
Conclusion.....	54
 Chapitre III Réalisation du banc de caractérisation optique.....	55
III.1 Sources de bruit et détection synchrone.....	56
III.1.1 Sources de bruit dans un système de détection	56
- Bruit thermique du capteur.....	57
- Bruit du diélectrique.....	57
- Bruit d'un amplificateur.....	58
- Bruit total et facteur de bruit d'une chaîne d'amplification.....	58
III.1.2 Rappel sur la détection synchrone	59
- Intérêt de la détection synchrone et son principe de fonctionnement	59
- Influence de la phase	61
III.2 Principe expérimental et montage du banc de caractérisation.....	61
III.2.1 Principe du banc de caractérisation.....	61
III.2.2 Principales caractéristiques du détecteur synchrone utilisé.....	62
III.2.3 Modulation du rayonnement : Structure et caractéristiques du chopper réalisé.....	64
a- Le moteur.....	64
b- La source de rayonnement.....	64
c- Les disques.....	65

III.2.4 Lentilles utilisées.....	65
III.2.5 Génération du signal de référence.....	66
- Principe du circuit.....	67
- Choix de la diode émettrice.....	70
- Stabilité du signal de référence par rapport à la PLL.....	70
III.3 Bruit extrinsèque affectant le banc de mesure.....	70
III.3.1 Le bruit électrostatique.....	70
III.3.2 Le bruit magnétique.....	71
III.3.3 Le bruit de masses.....	71
III.3.4 Le bruit électromagnétique.....	72
III.3.5 Solutions pour éviter les bruits extrinsèques.....	72
III.4 Mesure de l'intensité de lumière reçue par le capteur.....	73
III.4.1 Étude théorique.....	73
III.4.2 Principe du circuit de mesure.....	75
III.5 Montage complet du banc de caractérisation.....	77
Conclusion.....	78
Chapitre IV Mesures et caractérisations	79
IV.1 Présentation des échantillons.....	80
IV.1.1 Montage basique du capteur.....	80
IV.1.2 Montage à structure libre.....	81
IV.1.3 Montage avec contact thermique	81
IV.1.4 Montage avec couche isolante	81
IV.2 Choix du mode de détection.....	83
IV.3 Mesures effectuées	83
IV.3.1 Réponse en tension.....	83
IV.3.2 Réponse en courant.....	85
IV.3.3 Effet de la fréquence de modulation sur la réponse pyroélectrique.....	87
IV.3.4 Effet de la surface active sur la réponse pyroélectrique.....	88
- Réponse en tension.....	88
- Réponse en courant.....	89
IV.3.5 Effet de l'épaisseur du matériau pyroélectrique sur la réponse du capteur.....	90
IV.3.6 Effet de la distance source – capteur sur la réponse pyroélectrique.....	90
IV.3.7 Effet du contact thermique et de son épaisseur sur la réponse pyroélectrique.....	91

IV.3.8 Effet de l'isolant thermique et de son épaisseur sur la réponse pyroélectrique.....	92
IV.3.9 Effet du type d'isolant thermique sur la réponse pyroélectrique.....	93
IV.4 Interprétation des réponses	94
IV.5. Détermination du coefficient pyroélectrique.....	96
IV.6 Sensibilité en tension et sensibilité en courant.....	98
IV.7 Détermination de la constante de temps.....	99
Conclusion.....	102
ChapitreV Détermination du coefficient pyroélectrique par la technique d'absorption diélectrique ..	103
V.1 Principe théorique de la méthode.....	104
V.2 Mise en œuvre de la technique.....	107
V.3 Conception et réalisation de l'oscillateur.....	108
V.3.1 Le monostable.....	109
V.3.2 Le séquenceur.....	112
V.3.2.1 La RAM.....	112
V.3.2.2 Le compteur d'adresses.....	113
V.3.2.3 Ajustement de la fréquence.....	115
- Diviseurs de la fréquence horloge.....	115
- Multiplexeurs d'horloges.....	116
V.3.2.4 Écriture des données dans la RAM et synthèse du séquenceur complet.....	120
V.3.2.4.A Écriture directe des données	120
V.3.2.4.B Utilisation du processeur Cordic.....	124
- Principe mathématique de l'algorithme.....	125
- Calcul de $\cos\theta$ et $\sin\theta$	126
- Composants basiques du processeur Cordic.....	127
- Les additionneurs	127
- Convertisseur complément à 2 – BSD et vis vers ça	128
- Composants nécessaires pour la synthèse du processeur Cordic.....	129
V.3.3 Synthèse de l'oscillateur complet.....	130
V.3.4 Emplacement et routage dans le FPGA cible.....	135
V.3.5 Simulation avec le logiciel Workbench.....	135
V.4 Circuit de caractérisation.....	138
V.5 Résultats de caractérisation.....	139

Conclusion.....	139
Conclusion générale.....	141
Annexes.....	144
Bibliographie.....	150

INTRODUCTION GENERALE

Le rayonnement infrarouge est le rayonnement spontané émis par les objets en fonction de leur température, il s'étend dans le spectre électromagnétique de 0.7 à 100 μm , sa mise en évidence a été en 1800 par William Herschel [02].

N'étant pas visible à l'œil nu, un système de détection étant nécessaire pour l'observation du rayonnement infrarouge. La progression des moyens de détection fût, au début de son apparition, très lente, il a fallu attendre jusqu'à 1830 pour voir les premiers détecteurs thermopiles se développer [02]. Dès 1870, une nette amélioration de la détection s'est produite avec la découverte des matériaux photorésistants et la mise au point des premiers détecteurs quantiques. Ainsi, entre 1930 et 1944, les premiers détecteurs photoconducteurs au sulfure de plomb (Pbs) ont été développés pour des besoins militaires, ensuite les recherches se sont orientées vers la mise au point de nouveaux matériaux afin d'exploiter au plus loin le spectre infrarouge. En 1960, l'Antimoniure d'Indium (InSb) a permis d'atteindre le domaine spectral de 3 à 5 μm et la Tellure de Cadmium de mercure (HgCdTe) a étendu la détection de 8 à 12 μm et a permis le fonctionnement à une température de 77°K au lieu de 20°K ; température à laquelle fonctionnaient les autres détecteurs de l'époque [03].

Le besoin à la détection infrarouge n'a cessé d'augmenter, et dans le souci de mettre au point des systèmes de détection plus légers, ne nécessitant pas de refroidissement, moins coûteux et plus efficaces, de nouveaux axes de recherches ont été ouvert tant sur le plan des matériaux que sur le plan technologique. Ainsi, des recherches intensives ont été menées dont le fruit été d'introduire les systèmes de détection infrarouge au domaine civile après avoir été restreints aux applications militaires.

Cette révolution se doit à l'évolution de la technologie des détecteurs thermiques et pyroélectriques et notamment à la découverte de la pyroélectricité chez les polymères polaires. En effet, l'émergence de ces détecteurs a permis, en quelques dizaines d'années, de passer des systèmes très lourds et très coûteux à des systèmes compacts et portables fonctionnant à température ambiante sur de larges plages spectrales et permettant des applications aussi diverses tant au domaine civil que le militaire. Actuellement, des applications grand public essentielles reposent sur les détecteurs thermiques et les détecteurs pyroélectriques comme le contrôle de processus, l'imagerie thermique, la sécurité des biens et des personnes, les systèmes de détection d'obstacles à bord de véhicules pour n'en citer que quelques exemples. En domaine militaire, des jumelles infrarouges pour la vision nocturne, utilisant des détecteurs non refroidis sont disponibles et des matrices équipent certains types de missiles qui s'accrochent aux points chauds [02].

Les détecteurs thermiques tels que les thermopiles et les bolomètres ainsi que les détecteurs pyroélectriques mesurent une variation d'une propriété physique de l'élément sensible induite par la

variation de sa température, cette dernière étant provoquée par l'absorption d'un rayonnement infrarouge émis par un objet ou une personne. De part leur nature, ces détecteurs ont une réponse constante sur une large plage spectrale, ils fonctionnent sans avoir besoin à un système de refroidissement ce qui leur permet d'être compacts et portables. Cependant, ils présentent une faible sensibilité et un temps de réponse plus lent comparativement aux détecteurs quantiques [04].

Parmi les détecteurs thermiques, les bolomètres ont connu ces dernières années une avancée significative, ils présentent aujourd'hui les performances les plus élevées des détecteurs non refroidis : ils permettent une détection d'une variation de température de l'ordre de 20 mK [09].

Les thermopiles connaissent également un intéressement de la part des laboratoires de recherche. En effet, le LAAS avec la société EDF en France, et dans le cadre du projet européen (IMPACT/Université de Barcelone) ont entrepris des travaux pour l'exploration de nouvelles filières liées à la surveillance dans l'habitat des personnes âgées ou handicapés on utilisant des thermopiles. D'autres applications en robotiques ont été lancées dans le cadre du programme PICASSO entre les groupes RIA (Robotique Intelligence Artificielle) et MIS (Microsystèmes et Intégration des Systèmes) pour l'imagerie bi-spectrale (visible/infrarouge), ces travaux comptent de développer de nouvelles générations de microsystèmes à base de thermopiles [02].

Les détecteurs pyroélectriques, quand à eux, n'avaient jamais été mis de côté. Des imageurs thermiques, utilisant des monocristaux du types TGS ou des céramiques polycristallines, ont été réalisés aux États-unis et en Grande-Bretagne au début des années 80 [01]. Cependant, les détecteurs pyroélectriques ont connu leur grand élan avec la découverte de l'effet pyroélectrique chez les polymères polaires comme le polyvinylidène bifluoré : le PVDF et ces copolymères comme le P(VDF-TrF_E) ; ces matériaux représentaient sitôt des candidats potentiels pour la réalisation de détecteurs de grandes tailles vu leur propriétés mécaniques : ils sont thermoformables, faciles à traiter et peuvent être produits sous forme de feuilles de quelques microns à quelques centaines de microns d'épaisseur.

À la différence des détecteurs thermiques, l'effet pyroélectrique dépend du taux de variation de la température du matériau sensible et non de sa température elle-même. Le détecteur pyroélectrique fonctionne ainsi à un temps de réponse beaucoup plus court et en fait le choix idéal pour beaucoup d'applications pour lesquels une réponse rapide est essentielle comme les spectromètres de transformation de Fourier.

Les paramètres de performances d'un détecteur pyroélectrique sont directement liés à son coefficient pyroélectrique. En effet, pour une puissance absorbée, l'amplitude du courant pyroélectrique sera d'autant plus grande que le coefficient pyroélectrique sera grand. La connaissance de ces caractéristiques est d'une grande utilité pour une meilleure exploitation des performances du détecteur ou pour une optimisation de

la détection dans le cas d'un système intégré : la caractérisation est une étape indispensable et importante dans la vie d'un capteur. Cependant, la réponse d'un capteur pyroélectrique à base d'un polymère est très faible et elle est rapidement dissimulée par les bruits présents dans la chaîne de mesure. Par conséquent, le choix de l'outil de détection de cette réponse ainsi que la technique de caractérisation adoptée sont fondamentaux.

C'est dans ce contexte que se situe notre travail et qui vient comme un prolongement des travaux déjà effectués au sein du Laboratoire des Systèmes Intégrés à base des Capteurs (LSIC) concernant les détecteurs pyroélectriques à base du PVDF.

Notre travail de thèse porte donc sur **l'Étude et la caractérisation d'un capteur pyroélectrique à base d'un polymère polaire le PVDF.**

Il sera aussi organisé de la façon suivante :

Dans le premier chapitre, nous présentons les concepts fondamentaux de la filière de détection infrarouge avec un état de l'art sur les différents détecteurs disponibles dans cette filière et nous présentons à la fin les détecteurs pyroélectriques, les matériaux utilisés en comparant leurs caractéristiques en mettant en clair les performances du PVDF.

Après avoir passer en vue des caractéristiques physiques du PVDF, les techniques adoptées pour sa polarisation et la technologie de fabrication du capteur, nous avons consacré la suite du deuxième chapitre à la modélisation thermique et électrique d'un capteur pyroélectrique en donnant son modèle équivalent ainsi que les expressions théoriques du signal pyroélectrique recueillis aux bornes d'une cellule de détection en mode tension et en mode courant.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les différentes étapes de conception et de réalisation du banc de caractérisation utilisant une première méthode de caractérisation en justifiant le choix de la détection synchrone comme outil principal de mesure.

Le quatrième chapitre est consacré à la caractérisation de différents échantillons, les résultats théoriques et expérimentaux obtenus sont présentés avec une analyse et interprétation.

Enfin le cinquième chapitre consiste à la présentation d'une deuxième méthode de caractérisation des capteurs pyroélectriques, nous présentons également le circuit réalisé pour effectuer cette caractérisation ; il est à base d'un circuit programmable.

Notre travail est terminé par une conclusion générale et des perspectives.