

# CONCLUSION GENERALE

**Page sans texte**

## 1. CONCLUSION GENERALE

Le capteur d'images CCD est devenu depuis 20 ans un capteur performant et largement utilisé dans de très nombreux domaines d'applications du domaine visible. Il a rendu marginale l'utilisation d'autres capteurs comme le CID ou d'autres capteurs à Pixels Passifs tellement son niveau de performance est élevé (Chapitre I).

Le concept d'APS est devenu réalisable dans la décennie 1990-2000 grâce à la réduction de la taille de la lithographie de la technologie CMOS. Le principe d'un APS est d'incorporer dans le périmètre du pixel le lieu de détection des photons, de conversion photoélectrons/tension, et amplification du signal. Ceci intègre dans le pixel, le système de détection et de lecture d'un CCD.

L'opportunité d'étudier les capteurs APS réside dans le fait que ces derniers peuvent résoudre les inconvénients majeurs du CCD comme l'inefficacité de transfert de charges, sa lourdeur de mise en œuvre, la robustesse à la manipulation et la consommation associée. De plus, l'APS apporte des avantages importants, comme l'usage direct d'éléments de la bibliothèque CMOS pour intégrer dans la même puce des fonctions de traitement, une faible consommation, une structure de pixel versatile, une meilleure robustesse par rapport au CCD et un adressage aléatoire.

Ces avantages ont initié des recherches dans de nombreuses entreprises sur le développement de capteurs APS à travers le monde, et le secteur commence à devenir très compétitif. De nombreux prototypes ont été présentés dans de nombreuses publications. De plus, la présence, de sessions spécialisées dédiées aux APS lors de rencontres scientifiques internationales, rend ce nouveau détecteur crédible et au-dessus d'un simple phénomène de mode passager.

Globalement, l'objectif de cette thèse a été d'étudier et de concevoir des capteurs d'images APS. En premier lieu, nous nous devons de connaître la meilleure structure de pixel pour un capteur CMOS APS : une étude a été réalisée dans ce sens. Celle-ci a démontré que parmi tout les pixels prétendant à une matrice APS, certains types ont du être exclus soit à cause de leurs performances médiocres, ou parce qu'ils ne peuvent pas être réalisés avec une technologie CMOS standard.

Deux types de pixels actifs en CMOS ont été étudiés et retenus, notamment le pixel photodiode (PD) et le pixel photoMOS (PM). Le rendement quantique de la photodiode est assez élevé (58 % pour  $\lambda=650$  nm), mais son facteur de conversion est plus faible (10 fois) que celui du photoMOS. Les avantages et inconvénients des deux structures ont été évalués théoriquement et puis confirmés par des mesures en vue de déterminer la structure la plus performante.

Des circuits de lecture ont été étudiés, en tenant compte des exigences de linéarité et de réalisation de la fonction de CDS. Un premier circuit a été étudié en détail et implanté dans nos structures de test. D'autres circuits de lecture ont été simulés, et se sont montrés moins sensibles aux capacités parasites induites par la réalisation de grandes matrices APS (1000x1000). Partant de l'expérience acquise sur nos prototypes, nous avons cherché les points sensibles pour la conception de matrices APS de plus grandes dimensions : les capacités de lignes et d'entrée des transistors in-pixel se cumulent en série. Des précautions doivent être prises lors de la conception de telles matrices.

Une étude théorique portant sur le bruit de lecture de la chaîne utilisée pour nos prototypes a montré que la valeur de capacité de la diode de lecture et celle utilisée pour échantillonner le signal ont une importance déterminante sur ce paramètre.

Une estimation théorique du rendement quantique a été menée. Bien que nous n'ayons pas à notre disposition tous les éléments de la technologie pour réaliser un modèle le plus fidèle par rapport à la réalité, nous avons pu déterminer l'importance respective de ces paramètres en vue de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu lors de la détection de la lumière pour les pixels PM et PD. Cette étude permettra d'optimiser certains paramètres pour un rendement le meilleur possible. Les courbes de rendement quantique théoriques se sont avérées relativement semblables à celles mesurées et d'un niveau honorable par rapport au CCD. En particulier, le pixel PD offre un rendement quantique dans le bleu très intéressant en comparaison avec le CCD.

Une autre étude théorique concerne le rapport signal à bruit et la sensibilité ( $V/\mu J/cm^2$ ) des pixels PM et PD en fonction du pas du pixel. Celle-ci a démontré que la dynamique est constante (74dB) pour les deux types de pixels, pourvu que l'on ne dessine pas un pixel trop petit par rapport à la technologie ( $>25.F$ ). En ce qui concerne la sensibilité, le pixel PM est 3 à 10 fois plus sensible que le pixel PD, la sensibilité de ce dernier n'augmente pas, même pour des pixels  $\gg 25.F$ ). Un pixel de taille optimale peut être considéré pour une technologie donnée et le pixel PM est mieux adapté pour des applications faibles flux.

Plusieurs matrices APS (5) de test ont été conçues, dessinées et envoyées au fondeur : matrice 32x32, 128x128, 256x256 avec deux technologies (1.2 $\mu m$  et 0.7 $\mu m$ ). Ces matrices possèdent toutes des pixels PM et PD. Toutes ces matrices sont fonctionnelles et ont été caractérisées le plus en profondeur possible après retour du fondeur. Ces matrices ont toutes bénéficié d'améliorations successives par rapport la matrice précédente. Nous avons du mettre en place à la fois les moyens matériels et logiciels pour qualifier ces matrices.

Par rapport aux CCD non scientifiques, les APS offrent un niveau de performances similaires (paramètres : CVF, QE, FTM, PRNU, DSNU, FPN). Ceci ouvre la voie à la réalisation d'APS ayant des performances très satisfaisantes, avec en plus un adressage aléatoire, une consommation faible et une intégration sur puce de fonctions de traitement complexes. Les points faibles des APS qui devront être pris en compte pour de futures recherches sont : la

diminution du courant d'obscurité, une dynamique plus importante ( $Q_{max}$ ) et un meilleur rendement quantique.

Même si le niveau de performances de matrices APS n'est pas celui du CCD scientifique, le domaine d'application des APS est très vaste. La conception d'un capteur d'images APS ayant intégré sur la même puce, à la fois la matrice de photo éléments et les circuits de contrôle, est très prometteuse en terme d'intégration, de consommation et de mise en œuvre.

Déjà, une société aux USA et trois en Europe ont fondé tout leur avenir sur le développement de ce type de capteur : aussi bien vers des APS de faibles coûts et de grande définition que vers des applications plus pointues comme des applications médicales. En effet, une puce APS totalement numérique ("*camera-on-a-chip*") va grandement simplifier la mise en œuvre de cameras, surtout si elle est compatible avec des bus numériques comme l'USB, SCSI ou Firewire. De tels systèmes pourront, de plus, tirer leur alimentation de ces bus, rendant de telles caméras aussi simples qu'une souris d'ordinateur.

Dans le domaine des caméscopes, un APS consomme bien moins qu'un système CCD et permettrait une augmentation d'autonomie de telles cameras et d'implanter sur la même puce des fonctions de stabilisation d'images. Pour des applications concernant la sécurité, des caméras miniatures sont aisément concevables avec un APS, des fonctions de détection de mouvements on-chip permettront d'augmenter l'efficacité de surveillance d'une telle caméra. Le contrôle industriel peut s'ouvrir aux APS, grâce à des fonctionnalités dédiées à cette application, et une vitesse de lecture pouvant aller au delà de 100Mpx/s.

L'APS peut aussi servir dans le secteur spatial, comme senseur stellaire grâce à son accès aléatoire et à la possibilité de réaliser des zones images ayant des temps d'intégration différents.

Dans le futur, les concepteurs de circuits intégrés de type ASIC disposeront dans leurs bibliothèques de plusieurs types de capteurs d'images APS de différentes caractéristiques, disponibles sous forme de macro-composants, afin d'être intégrés dans un système dédié à une application particulière. Le futur de l'imagerie intégrée s'avère donc très prometteur. L'intégration de telles fonctionnalités pour la réalisation d'un produit fini est du ressort d'un industriel possédant une bibliothèque relativement fournie. Par contre l'optimisation des performances du pixel vers une similarité de performances avec les CCD scientifiques, est le rôle d'un centre de recherches.

Notamment, la réduction de la lithographie vers des dimensions profondément sub-micronique ( $<0.25\mu\text{m}$ ) risque d'altérer les performances des matrices APS. Afin de conserver celle ci dans la ligne CMOS standard et de garder les avantages apportés par la bibliothèque CMOS (mémoires processeurs), des recherches importantes devront être réalisées. Et c'est bien là, l'objectif des futures thèses du groupe CIMI...

**Page sans texte**