

## PHOTODIODES À AVALANCHE À PHOTON UNIQUE DANS DES RÉSEAUX D'ÎLOTS DE SILICIUM POUR L'INTÉGRATION 3D AVEC LA MICROÉLECTRONIQUE

Nouvelle méthode d'intégration et de fabrication de SPAD 3D - CMOS commercial



200-35, Radisson  
Sherbrooke QC J1L 1E2  
CANADA  
t 819 821-7961

### Contexte

Outre le fait que l'on trouve des capteurs basés sur des photodiodes à avalanche à photon unique (SPAD) dans des domaines scientifiques de pointe, leur utilisation dans des appareils tels que l'iPhone démontre que cette technologie devient moins marginale sur le marché grand public.

En effet, les photodétecteurs à base de SPAD sont également utilisés dans l'imagerie médicale, la physique des particules, la télémétrie, les systèmes de caméras 3D et les systèmes de télécommunication quantiques. Les photodétecteurs sont des capteurs capables de convertir l'énergie photonique de la lumière en signaux électriques. Les photomultiplicateurs au silicium (SiPM) sont des dispositifs à l'état solide sensibles à un seul photon, basés sur des réseaux de SPAD mis en œuvre sur des substrats de silicium communs. Les détecteurs SiPM sont utilisés sur les marchés de l'instrumentation pour la détection des radiations, l'imagerie médicale et les télécommunications. En outre, les SPAD permettent de mesurer la distance en temps de vol, ce qui est utile pour la tomographie par émission de positrons (TEP), les caméras 3D dans le secteur du LIDAR automobile et les capteurs de proximité. Ces détecteurs se distinguent par leurs performances car ils sont photosensibles au photon unique et ont une résolution temporelle sur le temps d'arrivée de la lumière.

### Description

Le nouveau concept de cette invention d'un îlot mince de silicium contenant un SPAD est une nouvelle méthode d'intégration des SPAD dans un détecteur, qui vise à repousser les limites de la résolution temporelle des détecteurs. Il permet la fabrication sur silicium avec les procédés industriels existants à faible coût tout en intégrant et miniaturisant la matrice de pixels. L'objectif avec cette architecture est d'atteindre des précisions de 10 picosecondes (10e-12 secondes) pour un détecteur compact, ce qui équivaut à une précision millimétrique en termes de mesure de distance à la vitesse de la lumière. Ce réseau SPAD intégré en 3D avec l'électronique vise à optimiser les performances du détecteur en termes de photosensibilité et de précision sur le temps d'arrivée du photon. Le concept d'îlot de silicium mince permet d'éviter les technologies d'intégration verticale 3D coûteuses, telles que l'utilisation de "vias en silicium", ainsi que d'obtenir un profil de jonction purement vertical, qui minimise l'erreur sur le temps d'arrivée du photon. En résumé, les 3 principaux éléments qui font de cette invention un cas unique sont 1) un détecteur éclairé par l'avant, 2) aucun contact via à travers la structure en silicium pour s'interconnecter avec l'électronique, et 3) les SPAD sont fabriqués avec un procédé optoélectronique avec des tranchées entourant les SPAD pour l'isolation optique et électronique.

### Applications

- Cette nouvelle approche 3D répond aux besoins des applications industrielles et scientifiques suivantes :

- Imagerie médicale
  - Avantages - Réduction des doses, plus de patients par jour, reconstruction 3D en temps réel, meilleure résolution.
- Physique des particules
  - Bénéfices - Approche numérique sur puce, expérience à grande échelle : plusieurs mètres carrés.
- Capteurs de proximité, caméras 3D et systèmes LiDAR automobiles
  - Avantages - Meilleure résolution spatiale grâce au temps de vol ; gamme IR du spectre.

Applications pour les smartphones, par exemple la reconnaissance faciale sur l'iPhone.

- Télécommunications quantiques
  - Avantages - Vitesse de communication, miniaturisation.
- Marchés où l'on trouve des détecteurs de photons uniques :

- Caméras 3D grand public - ~13,8 milliards de dollars américains d'ici 2023.
- LiDAR automobile - ~4,1 milliards de dollars d'ici 2026.
- Imagerie médicale - ~35 milliards de dollars d'ici 2022.
  - Capteurs médicaux à l'état solide - ~350 millions de dollars d'ici 2022.
- Cryptographie quantique - ~0,94 milliard de dollars d'ici 2022.

### Avantages techniques

- Il existe des modèles similaires, mais aucun ne présente les caractéristiques suivantes en un seul modèle :

- Architecture éclairée par l'avant
  - Processus d'intégration 3D sans TSV - c'est-à-dire : pas de vias à travers le silicium.
  - Tranchée d'isolation opto-électrique entourant chaque pixel SPAD - conception basée sur un îlot de silicium fin et petit avec chaque SPAD.
  - Substrat de capteur aminci - intégration verticale totale
  - Évaluation et minimisation de la diaphonie
  - Détection rapide de la lumière UV/visible
  - Couches d'interconnexion directe entre le SPAD et le CMOS.
- Fabrication à faible coût
- Peut être intégré de manière standardisée sur différentes technologies CMOS : haute performance, certifié automobile, etc.

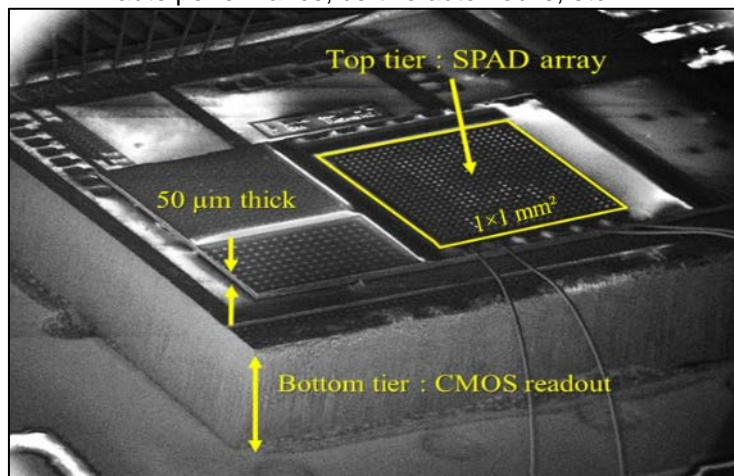


Figure 1 - Illustration du concept - premier prototype. Source : Université de Sherbrooke.

### Mots clés

- Diode à avalanche à photon unique (SPAD), Photodiode à avalanche en mode Geiger, Photomultiplicateur numérique en silicium, SPAD intégré en 3D, GAPD intégré en 3D, Temps de vol avec SPAD, LiDAR avec SPAD.

### Maturité de la technologie

TRL 4-5

- Démonstration de la fabrication du SPAD sur une ligne de production industrielle.
  - L'optimisation du prototype se poursuit de manière itérative avec pour objectifs un faible coût, des rendements élevés et une efficacité accrue de la détection (en particulier du rayonnement UV).
- Entreprises ciblées
  - FBK, Broadcom, Aeponyx, Hamamatsu, Excelitas, Teledyne, Triumph, ST Microelectronics, IR&T, Swabian Instruments, TSMC, etc.

### Propriété intellectuelle

- Demande de brevet déposée.

### Ce que nous recherchons

Partenaires de développement. Investissements. Licences.

### Contact Inventeur

Professor Jean-François Pratte  
Université de Sherbrooke  
Jean-Francois.Pratte@USherbrooke.ca

### Contact TransferTech Sherbrooke

François Nadeau  
f.nadeau@transfertech.ca  
873 339-2028  
www.transfertech.ca



200-35, Radisson  
Sherbrooke QC J1L 1E2  
CANADA

t 819 821-7961

