

Analyse et conception d'un circuit intégré en CMOS 65 nm pour algorithmes de distribution de clés quantiques (QKD)

Record number : OPR-12

Overview

RESEARCH DIRECTOR

Serge Charlebois, Professeur - Department of Electrical and Computer Engineering

Information

serge.charlebois@usherbrooke.ca

RESEARCH CO-DIRECTOR

Jean-François Pratte, Professeur - Department of Electrical and Computer Engineering

Information

jean-francois.pratte@usherbrooke.ca

ADMINISTRATIVE UNIT(S)

Faculty of Engineering
Department of Electrical and Computer Engineering

LEVEL(S)

Master's degree
Ph.D.
Postdoctoral Fellowship

LOCATION(S)

Campus principal

Project Description

Les 3DdSiPM (3D digital Silicon Photomultiplier) sont une technologie sherbrookoise de détecteurs monophotoniques à lecture numérique et à haute résolution temporelle. Elle s'avère être très pertinente dans le domaine de la physique des astroparticules et de l'information quantique. Dans les expériences telles DarkSide (1) sur la matière noire, la résolution temporelle et le traitement de signal in situ promettent une augmentation de la sensibilité. La grande taille de ces expériences force une réduction de la puissance consommée par les 3DdSiPM. Nos détecteurs répondent aussi parfaitement aux besoins de la distribution de clés quantiques (2) par leur sensibilité monophotonique et leur très grande résolution temporelle. Le développement d'un détecteur intégré sur une seule puce promet de réduire la masse et la puissance pour une utilisation dans un satellite.

Proposés dès 1998 et développés depuis 2009 à Sherbrooke par J.-F. Pratte, R. Fontaine et S. Charlebois, les 3DdSiPM sont des détecteurs à sensibilité monophotonique basés sur des SPAD (Single Photon Avalanche Diode) avec lecture numérique et traitement de signal intégré. Notre technologie de 3DdSiPM est basée sur l'assemblage 3D d'une couche photodétectrice sur un circuit CMOS 65 nm GP (general purpose) pour la lecture et le traitement du signal. Le développement de la couche photodétectrice est en cours (collaboration avec Teledyne DALSA, financement FCI et le McDonald Institute) et les premiers résultats sont attendus dans l'année.

Deux versions d'un prototype de l'électronique CMOS 65 nm GP ont été réalisés et démontrent une résolution temporelle de moins de 50 ps pour une matrice de 256 cellules (photodiode et circuit de lecture). Pour la distribution de clés quantiques (QKD - Quantum Key Distribution), l'information codée dans 4 états de polarisation (ex. protocole BB84) est interprétée à partir d'étampes temporelles de détection dans des fenêtres de coïncidence de l'ordre de 1 ns.2 Durant cette fenêtre de temps, toute détection de bruit entraîne une réduction de la fiabilité des mesures et une réduction du taux de transmission du protocole de QKD. La très grande résolution temporelle de nos 3DdSiPM permettrait une réduction drastique de la fenêtre de coïncidence et du bruit et donc une augmentation marquée de la fiabilité et du taux de transmission de clé. Les 3DdSiPM permettent la détection de photons uniques, ce que requiert également les protocoles de QKD. Comme la couche détectrice en cours de réalisation (Teledyne DALSA) a un maximum de sensibilité aux longueurs d'onde entre de 400 nm et 600 nm, la QKD via satellites est envisageable (3).

Le QKD bénéficierait de plus grande facilité de synchronisation et donc d'une potentielle augmentation de résolution temporelle. Avec nos 3DdSiPM, il est possible de détecter les 4 chaînes QKD avec un seul 3DdSiPM, ce qui représente un changement de paradigme important

pour le domaine de clés quantiques. Un autre changement de paradigme rendu possible grâce à la grande résolution temporelle de nos 3DdSiPM est l'encodage de l'information en « classes de temps » (time-bins)(4). Ce volet du projet vise d'abord la pré-ingénierie d'une nouvelle puce, basée sur l'architecture éprouvée de la puce TEP, adaptée aux spécifications de la QKD. Pour ces travaux nous bénéficions de l'expertise confirmée de Thomas Jennewein (IQC) membre de la mission QEYSSat (Quantum Encryption and Science Satellite) (5). La puce sera ensuite conçue et réalisée afin de valider et d'optimiser le fonctionnement de la couche électronique. Le candidat œuvrera au sein d'une équipe ayant déjà travaillé dans le procédé CMOS 65 nm.

Références

1. Aalseth, C. E. et al. DarkSide-20k: A 20 tonne two-phase LAr TPC for direct dark matter detection at LNGS. Eur. Phys. J. Plus 133, 131 (2018).
2. Bourgoïn, J. P. et al. Experimental quantum key distribution with simulated ground-to-satellite photon losses and processing limitations. Phys. Rev. A—At. Mol. Opt. Phys. 92, 1–12 (2015).
3. Bourgoïn, J.-P. et al. Corrigendum: A comprehensive design and performance analysis of low Earth orbit satellite quantum communication (2013 New J. Phys. 15 023006). New J. Phys. 16, 069502 (2014).
4. Jin, J. et al. Demonstration of analyzers for multimode photonic time-bin qubits. Phys. Rev. A 97, 043847 (2018).
5. Oi, D. K. L. et al. Nanosatellites for quantum science and technology. Contemp. Phys. 58, 25–52 (2017)

Discipline(s) by sector

Natural Sciences and Engineering

Electrical Engineering and Electronic Engineering

Funding offered

Yes

Partner(s)

Teledyne DALSA Semiconductor Inc.

The last update was on 24 November 2020. The University reserves the right to modify its projects without notice.