
Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

Détecteurs et instrumentation associée

OPTIMISATION RADIATEURS À MICROCANAUX EN SILICIUM

Auteur principal

Nom : Stéphan BEURTHEY

Affiliation : CPPM/IN2P3

Email et coordonnées :

beurthey@cppm.in2p3.fr

tel: 06 72 91 68 65

Co-auteurs (inclure aussi les collaborateurs internationaux si existants)

Marco BOMBEN (LPNHE)

Giovanni CALDERINI (LPNHE)

Julien COGAN (CPPM)

Pierre DELEBECQUE (LAPP)

Stéphane JEZEEQUEL (LAPP)

Olivier LEROY (CPPM)

Jessica LEVEQUE (LAPP)

Gregory HALLEWELL (CPPM)

Alexandros MOUSKEFTARAS (UMR 7341 - Laboratoire plasma et procédés photoniques - LP3)

Mathieu PERRIN-TERRIN (CPPM)

1. Informations générales

Titre : Optimisation radiateurs à microcanaux en silicium

Acronyme : *(optionnel)*

Résumé

Les systèmes de refroidissement basés sur la circulation de fluide mono ou diphasique dans des microcanaux apparaissent comme d'excellents candidats pour répondre aux besoins des détecteurs en silicium de la physique des hautes énergies. Déjà utilisés dans des expériences comme NA62 ou LHCb, leur fabrication est chère et délicate. Les développements proposés par des équipes du CPPM, du LAPP et du LPNHE visent à caractériser précisément les conditions des écoulements dans ce type de structure et à optimiser leur procédé de fabrication pour les détecteurs futurs (ex: upgrades ATLAS ou LHCb).

Préciser le domaine technologique *(plusieurs choix possibles)*

- Détecteurs semi-conducteurs (Si, Ge, HgCdTe, Diamant...)
- Détecteurs gazeux (Micromegas, GEM, TPC...)
- Scintillateurs
- Photo-détecteurs (SiPM, PMT...)
- Détecteurs cryogéniques (KIDS, bolomètres...)
- Micro-électronique, Electronique Front End
- Acquisition de données, Temps réel
- Mécanique, intégration

Préciser la motivation principale de recherche visée par la contribution :

- R&D Calorimétrie
- R&D Trajectographe
- R&D Identification de particules
- R&D Détection de neutrons
- R&D Détection d'ondes gravitationnelles
- R&D Détecteurs de neutrinos
- R&D Détection de gammas
- R&D Détecteurs imagerie médicale
- Autre R&D spécifique : *(préciser)*

2. Description des objectifs scientifiques et techniques

Lors de la conception de systèmes de refroidissement pour les détecteurs de la physique des hautes énergies, trois éléments doivent être considérés. La quantité de matière doit être réduite au minimum. Pour un « budget matière » donné, la puissance de refroidissement doit être maximisée et l'écart de température entre la source de chaleur et le fluide doit être minimisée.

La microfluidique est un bon candidat étant donné le coefficient de transfert de chaleur élevé dans les flux laminaires qui est inversement proportionnel à la taille du canal. De tels systèmes de refroidissement ont été développés pour l'expérience LHCb et NA62. Ils répondent à la fois aux spécifications très agressives de X0 (0,15 %) et à la dissipation de puissance de l'électronique active de 2 W/cm^2 .



Principe du process pour réalisation de microcanaux en silicium

Néanmoins de telles réalisations se révèlent très coûteuses et difficiles à produire. Cela est principalement dû au nombre important d'opérations à effectuer pour la fabrication (plus de 120 étapes). Des équipes du CPPM, du LAPP et du LPNHE sont intéressées par l'étude et le développement de ce type de système, dans l'optique d'en améliorer les performances et d'en réduire les coûts de fabrication.

Le CPPM explore plusieurs pistes pour réduire le coût de production des microcanaux en simplifiant drastiquement leur procédé de fabrication. Parmi les idées à l'étude figure par exemple la gravure des microcanaux par laser, dont les premiers résultats semblent très encourageants.

L'équipe du LAPP a déjà une expertise dans le refroidissement par évaporation de CO₂ pour le tracker d'ATLAS dans des canaux millimétriques [thèse Barroca⁽⁴⁾]. Elle souhaite élargir son expertise aux microcanaux et inclure dans les simulations hydrauliques les paramètres spécifiques à la microfluidique en s'appuyant sur l'entreprise Optifluides et l'Ecole Centrale Lyon pour se former à l'utilisation du module de calcul spécifique aux fluides du logiciel ANSYS pour proposer des modèles 3D. Par ailleurs, le LAPP possède les équipements nécessaires aux mesures thermiques de prototypes refroidis par CO₂ diphasique, mais aussi aux mesures d'étanchéité à l'hélium sous pression, et d'épreuve en pression hydraulique.

Le LPNHE est impliqué dans la production de structures de microcanaux à travers son implication dans le groupe de travail dédié du programme AIDA-2020⁽⁵⁾.

Ce domaine en pleine expansion ouvre un large champ de recherche, de la connectivité entre les modules à l'exploration des possibilités techniques ouvertes par l'impression 3D, en céramique ou autres matériaux innovants. Il pourra trouver des applications en particulier pour les upgrades futurs des détecteurs de vertex ou les trajectrographes d'ATLAS et de LHCb.

3. Livrables associés, calendrier et budget indicatifs (1 page max. incl. figures)

Nous avons découpé notre projet en 4 phases :

Phase 1 : du 01/2019 au 01/2020

Analyse du besoin scientifique, étude bibliographique, analyse critique de l'existant. Cette phase a commencé début 2019 et devrait se terminer début 2020. C'est ce qui nous a permis de faire cette contribution. Premières discussions avec les experts cooling CO2 pour évaluer les implications sur le travail de simulation.

Phase 2 : du 10/2019 au 10/2020

Validation concepts. A partir des concepts recensés ou imaginés lors de la phase 1 nous souhaitons étudier celui qui nous paraît prometteur. Côté simulation il faudra développer les techniques de modélisation et les valider via des mesures sur prototypes.

Phase 3 : 10/2020 au ??

Étude d'un système de refroidissement complet en prenant en compte les spécifications complètes d'un détecteur. Etudes plus fines des paramètres dimensionnant influant sur les performances des microcanaux (réalisation de prototypes dédiés à cette étude et mesures).

Phase 4 :

Réalisation d'un système de refroidissement avec microcanaux. Il nous est difficile pour l'instant de nous projeter au-delà de la phase 3 en terme de délais. Cela dépendra des choix des projets

4. Impact (1/2 page max.) (optionnel)

Deux domaines peuvent être intéressés par le développement de puces microfluidiques. D'une part, les dispositifs de refroidissement à microcanaux sont activement étudiés en vue d'applications futures pour les puces de calcul de forte puissance ou les architectures 3D [1,2]. D'autre part, les applications biochimiques [3] ont de plus en plus recouru aux microcanaux. La présence sur le marché de microcanaux à coût modeste en silicium serait un atout pour ces secteurs.

Références

1. D. Atienza et al., 3D Stacked Architectures with Interlayer Cooling (CMOSAIC) <https://www.epfl.ch/labs/esl/research/past-projects/cmosaic/>
2. Y. Temiz et al., Two-Phase Cooling of 3D Chip Stacks, Proceedings of the EPFLCMI MicroNanoFabrication Annual Review Meeting, May 18th 2010, EPFL, Lausanne, Switzerland
3. A. Radadia et al., The fabrication of allsilicon micro gas chromatography columns using gold diffusion eutectic bonding, J. Micromech. Microeng. 20 (2010) 015002
4. P. Barroca, Modelling CO2 cooling of the ATLAS ITk Pixel Detector. PhD Communauté Université Hauts Alpes, 30 septembre 2019
5. D. Hellenschmidt, M. Bomben, G. Calderini, M. Boscardin, M. Crivellari, S. Ronchin, and P. Petagna, New insights on boiling carbon dioxide flow in mini- and micro-channels for optimal silicon detector cooling, Nucl. Instrum. Meth. (2019) 162535.