

Master 2 Internship in Material Chemistry or Material Science (2023)

Target manufacture of gadolinium and molybdenum for the production of theranostic radionuclides for nuclear medicine

General information:

Laboratory: GIP ARRONAX/ SUBATECH (UMR6457)
Address: 1 rue aronnax, 44800 Saint-Herblain
Supervisors: Yizheng Wang and Thomas Sounalet
Duration: 4 to 6 months (depending on the availability of the student)
Contact: yizheng.wang@subatech.in2p3.fr
Thomas.sounalet@subatech.in2p3.fr

Context and description:

The application of theranostics opens a new area of nuclear medicine that represents a combination of both therapy and imaging. A theranostic pair of radionuclides consists of two chemically similar isotopes, one can be used for imaging (γ or β^+ emitter), and the other for therapy (β^- , α or Auger emitter). The proposed radionuclides are the quadruplet of terbium (Tb) radionuclides, ^{149}Tb , ^{152}Tb , ^{155}Tb and ^{160}Tb , and the doublet of ruthenium (Ru) radionuclides, ^{97}Ru and ^{103}Ru . These radionuclides have been proved to have potential applications for theranostics aspects.

However, the short supply of certain terbium radionuclides (^{149}Tb , ^{152}Tb and ^{155}Tb) and of ruthenium radionuclide (^{97}Ru) limits their clinical applications. To improve the availability, irradiation of enriched gadolinium (Gd) and molybdenum (Mo) targets have been proposed to produce terbium and ruthenium isotopes respectively via the light-charged-particle-induced reactions with proton, deuteron and alpha delivered at GIP ARRONAX. Enriched material is mandatory to improve production yields and avoid the production of impurities. For example, gadolinium target enriched in ^{155}Gd can be used to produce ^{155}Tb . Finally, enriched raw material must be recycled due to their high price.

The objective of this internship is to work on the development of gadolinium and molybdenum targets focusing on 2 techniques: electrodeposition and pelletizing. In parallel, the works will also be performed to determine recycling method associated to these processes in order to recover enriched materials.

Obtaining homogeneous metallic gadolinium and molybdenum targets for production by electrodeposition is a great challenge. On the one hand, as gadolinium is more electropositive than hydrogen, it is thus difficult to obtain an adhered deposit using an aqueous solution due to a strong hydrogen evolution reaction. On the other hand, molybdenum reacts very easily with water during electrodeposition, thereby, molybdenum oxidizes during this process. Therefore, the use of organic solvents and molten salts is proposed to be explored in this work in both cases. The pelletizing technique can be used to obtain the Gd_2O_3 and the Mo metal pellets, but optimizations of the manufacturing process must be improved.

To study the morphology of the target, a scanning electron microscope (SEM) coupled with an energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) will be used to analyze the surface uniformity and the surface composition.

The manufactured targets will be irradiated at GIP ARRONAX cyclotron facility for cross section measurement and mass production of terbium and ruthenium.

A Ph.D. thesis is planned (from October 2023) in connection with this internship.

Tasks:

1. Literature survey;
2. Design and implementation of electrochemical experiments;
3. Characterization of the target by SEM.

Qualification requirements:

Education:

- Candidates must be enrolled in the last year of the master or engineering program in material chemistry /material science/physical-chemistry / nuclear physics.

Experience:

- Work experience or knowledge related to the electrochemistry is essential;
- Work experience or knowledge related to the SEM technique is useful;
- Work experience or knowledge related to subatomic physics is a bonus.

Competencies:

- English written and communication skills (essential);
- French written and communication skills (desirable);
- Ability to carry out experiments under instructions and guidelines;
- Ability to process, analyze and discuss data independently.

Relevant publications:

1. Wang Y, Sounalet T, Guertin A, et al. Electrochemical co-deposition of Ni–Gd₂O₃ for composite thin targets preparation: Production of ¹⁵⁵Tb as a case study[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2022: 110287.
2. Gucik M L, Pillars J R, Strange L, et al. Electrodeposition of gadolinium metal from organic solvents[R]. Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States), 2020.
3. Liu K, Liu Y L, Yuan L Y, et al. Electroextraction of gadolinium from Gd₂O₃ in LiCl–KCl–AlCl₃ molten salts[J]. Electrochimica Acta, 2013, 109: 732-740.
4. Cieszykowska I, Manufacturing and characterization of molybdenum pellets used as targets for ^{99m}Tc production in cyclotron, Applied Radiation and Isotopes, Volume 124, June 2017, Pages 124-131

Offre de stage M2 en chimie des matériaux ou science des matériaux (2023)

Fabrication de la cible de gadolinium et de molybdène pour la production de radionucléides pour la médecine nucléaire

Informations générales:

Laboratoire: GIP ARRONAX/ SUBATECH (UMR6457)
Adresse: 1 rue aronnax, 44800 Saint-Herblain
Superviseurs: Yizheng Wang et Thomas Sounalet
Durée: 4 à 6 mois (selon la disponibilité de l'étudiant)
Contact: yizheng.wang@subatech.in2p3.fr
Thomas.sounalet@subatech.in2p3.fr

Contexte et description:

L'application du théranostique ouvre un nouveau domaine de la médecine nucléaire qui représente une combinaison de thérapie et d'imagerie. La théranostique utilise une paire de radionucléides constituée de deux isotopes chimiquement similaires, l'un pouvant être utilisé pour l'imagerie (émetteur de γ ou β^+), et l'autre pour la thérapie (émetteur de β^- , α ou Auger). Les radionucléides proposés sont le quadruplet des radionucléides de terbium (Tb), ^{149}Tb , ^{152}Tb , ^{155}Tb et ^{160}Tb , et le doublet des radionucléides de ruthénium (Ru), ^{97}Ru et ^{103}Ru . Il a été prouvé que ces radionucléides avaient des applications potentielles pour les aspects théranostiques.

Cependant, la pénurie de certains radionucléides du terbium (^{149}Tb , ^{152}Tb et ^{155}Tb) et du ruthénium (^{97}Ru) limite leurs applications cliniques. Pour améliorer la disponibilité, irradier les cibles enrichies de gadolinium (Gd) et de molybdène (Mo) ont été proposées pour produire respectivement des isotopes de terbium et de ruthénium via les réactions induites par des particules légères et chargées, par exemple les protons, deutérons et alpha délivrées au GIP ARRONAX. De plus, Gd et Mo enrichis sont nécessaires pour améliorer le rendement de production et éviter la production d'impuretés radioactives. Par exemple, une cible de gadolinium enrichie en ^{155}Gd peut être utilisée pour produire du ^{155}Tb . En outre, la matière première enrichie doit être recyclée en raison de son prix élevé.

L'objectif de ce stage est d'étudier la fabrication des cibles de gadolinium et de molybdène en se concentrant sur 2 techniques : l'électrodéposition et le pastillage. En parallèle, le travail sur la méthode de recyclage de Gd et Mo enrichis doit être étudié.

L'obtention de cibles métalliques homogènes de gadolinium et de molybdène pour la production par électrodéposition est un grand défi. En effet, le gadolinium est plus électropositif que l'hydrogène, il est donc difficile d'obtenir un dépôt adhérent à partir d'une solution aqueuse à cause d'une forte réaction de dégagement d'hydrogène. Le molybdène réagit très facilement avec l'eau lors de l'électrodéposition, il s'oxyde facilement au cours de ce processus. Par conséquent, l'utilisation de solvants organiques et de sels fondus est proposée dans ce travail afin de contourner ces difficultés.

La technique de pastillage peut être utilisée pour obtenir les pastilles de Gd_2O_3 et de Mo métallique, mais les optimisations du processus de fabrication doivent être améliorées.

Pour étudier la morphologie de la cible, un microscope électronique à balayage (MEB) couplé à une analyse dispersive en énergie par rayons X (EDX) sera utilisé pour analyser l'uniformité et la composition de la surface du dépôt.

Les cibles fabriquées seront irradiées au cyclotron GIP ARRONAX pour la mesure de section efficace et la production de terbium et ruthénium.

Un sujet de thèse est prévu (à partir d'octobre 2023) en rapport avec ce stage.

Tâches:

1. Travail bibliographique;
2. Conception et réalisation d'expériences électrochimiques;
3. Caractérisation de la cible par MEB.

Profils recherchés:

Éducation:

- Les candidats doivent être inscrits en dernière année de master ou du cycle d'ingénieur en chimie des matériaux/science des matériaux/physico-chimie/physique nucléaire.

Expérience:

- Expérience/connaissances reliées à l'électrochimie sont essentielles;
- Expérience/connaissances liées à la technique SEM sont utiles;
- Expérience/connaissances liées à la physique subatomique sont un plus.

Compétences :

- Capacité à écrire et à communiquer en anglais (essentiel);
- Capacité à écrire et à communiquer en français (souhaitable);
- Aptitude à réaliser des expériences conformément aux instructions et aux directives ;
- Capacité à traiter, analyser et discuter des données de manière indépendante.

Publications pertinentes:

1. Wang Y, Sounalet T, Guertin A, et al. Electrochemical co-deposition of Ni–Gd₂O₃ for composite thin targets preparation: Production of ¹⁵⁵Tb as a case study[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2022: 110287.
2. Gucik M L, Pillars J R, Strange L, et al. Electrodeposition of gadolinium metal from organic solvents[R]. Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States), 2020.
3. Liu K, Liu Y L, Yuan L Y, et al. Electroextraction of gadolinium from Gd₂O₃ in LiCl–KCl–AlCl₃ molten salts[J]. Electrochimica Acta, 2013, 109: 732-740.
4. Cieszykowska I, Manufacturing and characterization of molybdenum pellets used as targets for ^{99m}Tc production in cyclotron, Applied Radiation and Isotopes, Volume 124, June 2017, Pages 124-131