NEWSLETTER Mars 2023 – GDR – RAFALD

FAITS MARQUANTS

Transition énergétique

"Le CEA à l'INES, en collaboration avec ENEL Green Power et sa filiale 3SUN à Catane vient de battre un nouveau record en développant une cellule solaire Tandem Perovskite-Silicium qui a atteint 25,8% d'efficacité énergétique!
https://www.ines-solaire.org/en/news/enel-green-power-and-cea-ines-improve-their-record-with-25.8-of-efficiency-on-9cm/
Le record de rendement est encore détenu par EPFL/CSEM avec un rendement de 31,3% sur 1cm^2."

Transition numérique

Le Graphene, une astuce permettant l'utilisation de l'ALD pour fabriquer des jonctions tunnel magnétiques
La spintronique est un paradigme axé sur le spin en tant que vecteur d'information dans des dispositifs non volatils rapides et à très faible consommation, tels que les nouvelles STT-MRAMs (spin-transfer torque magnetoresistive random access memory). Au-delà de ses applications largement répandues dans le stockage de données, elle vise à fournir des architectures plus complexes et une solution puissante post-CMOS. À ce jour, malgré un certain nombre de tentatives pionnières aux résultats prometteurs, les avantages de l'ALD n'ont pas été largement utilisés dans le domaine des jonctions tunnel magnétiques (MTJ) pour la spintronique, qui a plutôt dû s'appuyer sur des approches de dépôt physique plus complexes. Un problème clef subsiste : la combinaison d'une approche ALD avec des sources de spin métalliques (généralement des ferromagnétiques tels que Ni, Co, Fe, et leurs alliages) conduit à leur oxydation pendant la fabrication et en retour à la destruction de leurs performances spintroniques. Par conséquent, bien que très prometteuse en termes de contrôle de l'épaisseur, de la composition et de la conformabilité, l'application des procédés ALD aux MTJs a jusqu'à présent été fortement entravée par les contraintes strictes imposées par la spintronique pour l'intégration de couches tunnel de qualité électronique de l'ordre du nm dans les hétérostructures vannes de spin.
Au fil des ans, cependant, malgré ces conditions drastiques, plusieurs études ont fait état de l'intégration réussie de procédés de dépôt de couches atomiques ALD peu coûteux et polyvalents pour la fabrication de MTJ. Ces évolutions ont pu se faire en partie grâce à l'utilisation d'une membrane protectrice de graphène imperméable permettant la croissance ALD sans oxyder la source de spin métallique. Par exemple, des barrières tunnel ALD d'Al_2O_3 et de MgO, d'une épaisseur de 0.6 nm, ont été déposées couche par couche dans un procédé simple, sous vide primaire et à base d'ozone, conduisant à des barrières compatibles avec le transport d'électrons de haute qualité, comme le révèle la caractérisation par effet tunnel. Même dans ces conditions relaxées, comprenant l'exposition à l'air des interfaces, des magnétorésistance tunnels importantes ont été mesurées, soulignant la robustesse du procédé.[1]
[1] V. Zatko et al., "Almost Perfect Spin Filtering in Graphene-Based Magnetic Tunnel Junctions", ACS Nano 16, 14007 (2022); doi:10.1021/acsnano.2c03625

Santé-environnement

L'ALD pour des biocapteurs alimentaires

La fabrication et les performances d'un biocapteur électrochimique pour la détection spécifique de l'aflatoxine AFB_1, toxine pouvant être présente dans les aliments, ont été récemment rapportées par l'Institut Européen des Membranes à Montpellier. Composé d'un feutre de carbone recouvert par ALD d'un film ultra-mince de BN et de nanoparticules de Pd qui sont ensuite fonctionnalisées avec un acide aminé, la L-cystéine, et des anti-corps spécifiques, le biocapteur présente une grande sensibilité dans la gamme de 1 à 10 $ng.ml^{-1}$ avec une limite de détection de 0.834 $ng.ml^{-1}$ de AFB_1. Ces performances le rendent utilisable notamment dans l'industrie du vin.

Procédés innovants et transfert

À propos du workshop SALD à Eindhoven en Juin 2022

Le 9 juin, le groupe d'Erwin Kessel à TU Eindhoven a organisé un symposium "SALD day" dans le cadre de leur projet en cours sur la SALD, financé par NWO. L'objectif du symposium était de réunir les différents acteurs du domaine, ainsi que toute entreprise ou chercheur potentiellement intéressés par cette technologie. Le symposium a réuni 70 participants, dont un quart d'étrangers (principalement d'Allemagne, de Finlande et de France) avec un bon équilibre entre industriels et non industriels (40/60). (https://www.atomiclimits.com/2022/04/04/spatial-ald-day-june-9th-save-the-date/ pour voir le programme en détail).

La journée comprenait une section didactique dans laquelle les principes de l'ALD (par Erwin Kessels) et de la SALD (par Paul Poodt, de SparkNano) ont été décrits et discutés, suivie de deux présentations invitées par des universitaires (David Muñoz-Rojas du LMGP et Nils Boysen de l'UR Bochum), et dix présentations d'entreprises (Beneq, Chipmetrics, SALD, SALDtech, Delft IMP, SparkNano, InnoFlex, Levitech, Smit Thermal Solutions et Encapsulix). Il y a également eu une présentation sur la recherche SALD au TNO par Paul Poodt.

Ce qui ressort de cette journée, c'est que la SALD est un domaine très actif dans lequel des start-ups apparaissent rapidement. Les applications sont vastes, mais la durabilité et les énergies renouvelables restent les principaux moteurs du développement de cette technologie. En effet, le coût de ces applications est un facteur clé et le débit élevé offert par cette technique, avec certains systèmes fonctionnant à la pression atmosphérique, doit permettre de réduire ce coût de fabrication. Mais pour cela, les paramètres du dispositif, et en particulier l'effet de la pression, doivent être soigneusement pris en compte pour optimiser les procédés, comme l'a montré D. Muñoz-Rojas lors de sa présentation. Il a également montré comment les précurseurs peuvent également avoir un impact important sur les propriétés finales du film, comme l'illustre le cas de films minces de Cu_2O déposés avec deux précurseurs différents.

Image from https://www.atomiclimits.com/2022/07/20/looking-back-at-the-spatial-ald-day-with-photos-and-downloadable-presentations/

L'augmentation du nombre d'entreprises développant des approches SALD met en lumière ce qui peut freiner encore son expansion. Dans plusieurs présentations, l'utilisation importante de précurseurs a été évoquée comme un facteur critique affectant les vitesses de dépôt qui peuvent être atteintes et le coût du procédé. Nils Boysen a fourni des chiffres intéressants : il faut souvent 100 g de produits chimiques pour obtenir 10 g de précurseur, ce qui prend entre 1 et 2 semaines à l'échelle du laboratoire pour les synthétiser, et ils sont consommés en seulement 3 semaines (toujours à l'échelle du labo)! Un autre exemple spécifique fourni par Paul Poodt est que pour revêtir une électrode poreuse de batterie à 100 m/min, 1 kg de TMA est consommé chaque heure ! Par conséquent, le développement de précurseurs spécifiques à la SALD suivant des approches écologiques, à haut débit et à faible coût est d'une importance capitale pour pousser encore plus loin son avantage concurrentiel. L'utilisation de la simulation permettra d'accélérer la conception de nouveaux précurseurs tout en évitant les développements longs et coûteux.

La forte quantité de N_2 utilisée est également préoccupante car elle peut contribuer de manière très significative au coût global du procédé. Ceci est encore pire pour les précurseurs ayant une faible volatilité. Des exemples spécifiques ont été fournis durant la journée, et ainsi, dans le cas d'Innoflex, 44% du coût de leur procédé SALD est imputable au N_2 de grade 5 utilisé.

Une grande diversité d'approches techniques a été proposée pour la mise en œuvre de la SALD, pour lesquelles utiliser la modélisation en support est essentielle. Il existe plusieurs entreprises proposant le traitement des outils rotatifs sous vide. Des approches sheet-to-sheet et roll-to-roll conventionnels sont proposés par plusieurs sociétés. Dans d'autres cas, comme pour Delft IMP, des réacteurs tubulaires sont proposés pour fonctionnaliser des particules. La nouvelle approche roll-to-roll proposée par Innoflex est particulièrement innovante. Enfin, D. Muñoz-Rojas a montré comment les têtes SALD à proximité peuvent être conçues pour effectuer un dépôt sélectif (area-selected deposition, ASD), à la fois dans les approches SALD et SCVD. Le défi dans ce cas est d'augmenter la résolution des motifs en X-Y.

Comme pour les procédés ALD, la SALD peut également bénéficier d'une caractérisation *in situ*. Plusieurs présentations ont porté sur la caractérisation des revêtements et des procédés SALD. Chipmetrics a présenté ses substrats de test PillarHall, qui permettent un contrôle optique rapide de la conformité. Beneq applique le Broad Band Monitoring (BBM, une technique dans laquelle la transmittance et la réflectance sont mesurées sur un large spectre (UV-Vis-IR) et qui est particulièrement bien adaptée aux revêtements optiques qu'ils développent pour contrôler l'épaisseur in situ dans leur outil rotatif (voir https://doi.org/10.1364/OIC.2004.TuE6 pour plus de détails).

Après le dernier exposé de Jaques Kools d'Encapsulix, dans lequel il a présenté son approche de l'ALD rapide par ondes parallèles de précurseur (Parallel Precursor Wave ALD), la journée s'est terminée par une visite du groupe Plasma & Materials Processing de TU/e, qui a permis de voir certains des prototypes SALD.

En conclusion de cette journée passionnante, on peut voir que le domaine SALD est très actif et qu'il y a un énorme potentiel puisqu'il a prouvé être une approche très versatile et qu'il y a beaucoup d'applications qui peuvent encore bénéficier du SALD. Mais des progrès en matière de chimie et de synthèse des précurseurs, ainsi que de la modélisation, tant pour la conception des précurseurs que pour celle des systèmes, sont essentiels pour soutenir son expansion.

RECEMMENT PUBLIES PAR LES MEMBRES DU GDR

Investigating the vapour phase synthesis of copper terephthalate metal organic framework thin films by atomic/molecular layer deposition, *Dalton Trans.*, 2023,**52**, 211-217.

Almost Perfect Spin Filtering in Graphene-Based Magnetic Tunnel Junctions, *ACS Nano*, 2022, 16, 14007.

Smart Electrochemical Immunosensing of Aflatoxin B1 Based on a Palladium Nanoparticle-Boron Nitride-Coated Carbon Felt Electrode for the Wine Industry, *Talanta*, 2023, 253, 124000.

Tunable TiO_2-BN-Pd nanofibers by combining electrospinning and Atomic Layer Deposition to enhance photodegradation of acetaminophen, *Dalton Transactions*, 2022, 51, 2674 – 2695.

Transition Metal Dichalcogenide TiS2 Prepared by Hybrid Atomic Layer Deposition/Molecular Layer Deposition: Atomic-Level Insights with In Situ Synchrotron X-ray Studies and Molecular Surface Chemistry, *Chem. Mater.*, 2022, 34, 10885−10901.

Synthesis of In-Plane Oriented Tin Sulfides by Organosulfur-Mediated Sulfurization of Ultrathin SnO_2 Films, *Chem. Mater.*, 2022, 34, 13, 5842–5851.

n-ZnO/Out-of-Stoichiometry p-$CuCrO_2$ Diodes for Efficient and Low-Cost Transparent Electronic Applications, *ACS Appl. Electron. Mater.,* 2022, 4, 12, 5847–5858.

Custom 3D Printed Spatial Atomic Layer Deposition Manifold for the Coating of Tubular Membranes, *ACS Sustainable Chem. Eng.,* 2022, 10, 43, 14112–14118.

Chemical deposition of Cu_2O films with ultra-low resistivity: correlation with the defect landscape, *Nat Commun.*, 2022, 13, 5322.

Al_2O_3-ZnO atomic layer deposited nanolaminates for improving mechanical and corrosion properties of sputtered CrN coatings, *Thin Solid Films*, 2022, 759, pp.139476.

NOUVELLES DU GDR ET AAPS

Soutien pour la participation des doctorant.e.s et post-doctorant.e.s à un colloque
Le GDR RAFALD soutient la participation des doctorant.e.s et post-doctorant.e.s à des conférences internationales en proposant **4 financements de 500€** par an. Pour recevoir le soutien du GDR (max 500 €), il faut effectuer une communication orale à un congrès international.
Demande avant le 15/04/2023

Pour rappel :

- Soutien à la mobilité entre laboratoires, demande au fil de l'eau : enveloppe maximale de 1000€
- Soutien au financement à des jurys de thèse ou de HDR, demande au fil de l'eau
- Soutien aux frais de publication « open source »

Pour plus d'informations : http://rafald.org/fr/le-gdr/soutien-du-gdr/

- Prêt d'un spectromètre OES : informations sur http://rafald.org/fr/2019/03/19/spectrometre-oes/

VIE DU GDR

L'école thématique SALAD (School on Atomic LAyer Deposition) a eu lieu le mois de novembre dernier à Autrans. Dans ce cadre exceptionnel, dans le plateau du Vercors, une quarantaine de participants se sont retrouvé autour de plusieurs présentations, travaux dirigés, et des échanges avec les principaux acteurs français de la ALD. Les sujets abordés allaient des principes fondamentaux de cette technique aux tendances les plus récentes et l'état de l'art dans la réalisation et la caractérisation.

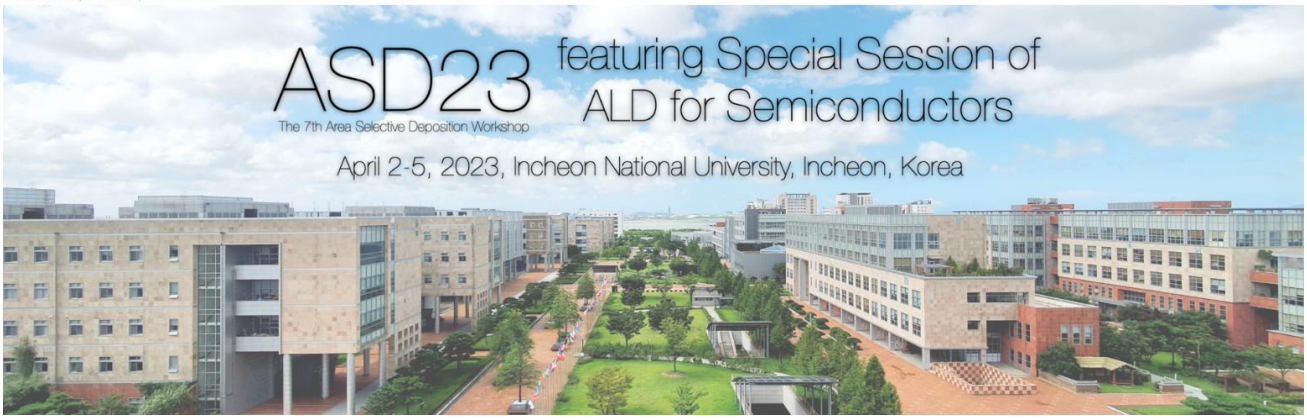
« *Cette école m'a apporté une regarde interdisciplinaire très complète sur L'ALD et ses différentes applications, une excellente base pour commencer mon post-doctorat dans ce domaine, un peu éloigné de ma formation initiale. J'ai beaucoup apprécié de pouvoir échanger avec des industriels, qui cherchent des solutions à des problèmes spécifiques liés à la mise en œuvre de cette technique* » explique Oscar SOSA, post-doctorat au laboratoire SiMAP à Grenoble.

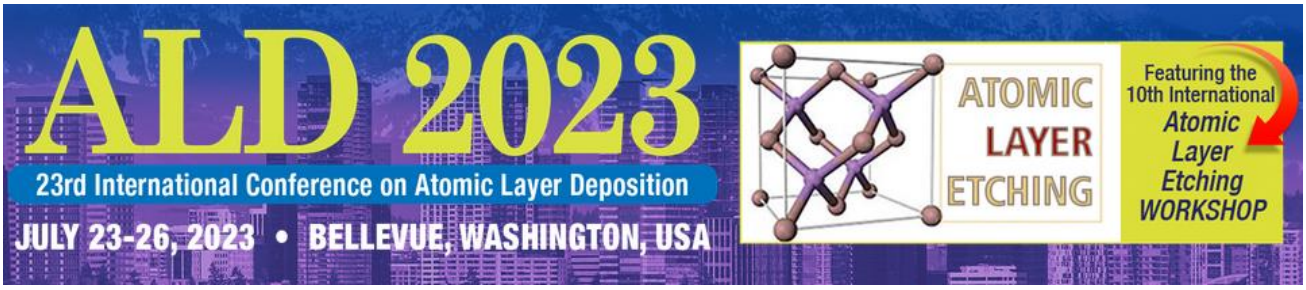
COTE INDUSTRIEL

Le fabricant de composants néerlandais ASM va investir 100 millions de dollars en Corée pour agrandir ses installations. https://theconservativeinvestordaily.com/2023/02/02/dutch-chip-firm-asm-to-invest-100-mil-in-korea-for-facility-expansion/

Picosun lance un programme R&D en Finlande pour la fabrication respectueuse de l'environnement de semi-conducteurs. https://press.picosun.com/veturi

EVENEMENTS A VENIR





OFFRES D'EMPLOI

http://rafald.org/fr/emploi/