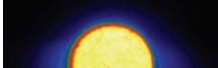


Plasma-Québec Express

Plasma-Québec



REGROUPEMENT STRATÉGIQUE EN SCIENCE ET APPLICATIONS DES PLASMAS

Numéro 2

Janvier 2007

Les défis de Plasma-Québec pour 2007

Plasma-Québec a été officiellement créé en 2002, suite à l'octroi d'un financement de quatre ans par le fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies dans le cadre de son programme de regroupement stratégique. A l'automne 2005, une nouvelle proposition fut déposée auprès du fonds, laquelle visait à faire reconnaître par le biais d'un financement le nouveau statut de centre de Plasma-Québec par opposition à réseau. Ce statut s'appuie sur le fait que Plasma-Québec s'est doté d'un programme de recherche cohérent intégrant trois axes complémentaires. En effet, en science des plasmas, nos membres mènent une recherche de pointe expérimentale et théorique permettant de faire progresser les connaissances scientifiques notamment dans le domaine des plasmas créés par laser, des plasmas de haute fréquence et des plasmas à électrodes internes. En matière de procédés assistés par plasmas, ces connaissances approfondies

de la science des plasmas sont mises à profit pour innover, entre autres en synthèse de couches minces et de nanomatériaux, en dépôt de revêtements fonctionnels, en gravure micro- et nanométrique, en développement de sources de photons et en analyse élémentaire. Enfin, en ce qui a trait à l'intégration de procédés assistés par plasma, notre savoir et savoir-faire en science des plasmas et des procédés permettent de développer des activités niches qui contribuent à des secteurs vitaux pour le développement économique, en particulier en technologies de l'information et des communications, en biomédical et en développement durable et environnement. L'approche originale adoptée par Plasma-Québec est d'avoir réussi à intégrer les connaissances fondamentales en plasma, le savoir-faire dans le domaine des procédés et leur exploitation dans des applications spécifiques en vue d'un transfert technologique. Ceci n'aurait pas été possible sans la ca-

pacité de Plasma-Québec de regrouper l'ensemble des compétences requises dans le domaine des plasmas et de leurs applications, ainsi que l'infrastructure nécessaire pour les exprimer. En dépit du difficile contexte financier du FQRNT en 2005-2006, Plasma-Québec a pu bénéficier d'un financement de deux ans. Pour en assurer la continuité, une nouvelle proposition sera donc déposée à l'automne.

En ce début d'année 2007, l'occasion nous est ainsi offerte de revoir nos objectifs collectifs, à savoir favoriser le maillage entre science, ingénierie, industrie et formation dans un domaine où le Québec possède un leadership incontestable, autant au plan canadien qu'international. Au nom de Plasma-Québec, je souhaite que cette année soit particulièrement fructueuse à tous points de vue, formation, collaborations et participation aux activités du regroupement. Bonne et heureuse année à tous les membres et à tous nos lecteurs.

Joëlle Margot

Plasma-Québec challenges in 2007

Plasma-Québec was officially created in 2002, with four-year funding from the Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT) in the context of

its program on "regroupement stratégique". In order to maintain continuity of funding, during the fall of 2005 a new proposal was submitted to the agency, the goal now being

the recognition of plasma-Québec as a research centre (as opposed to a research network). This status is based on the fact that Plasma-

Continued on page 5

SOMMAIRE

QUELQUES RÉALISATIONS SCIENTIFIQUES DE PLASMA-QUÉBEC VUES PAR LES ÉTUDIANTS. COLLÈGUES, DIPLÔMÉS ET NOUVEAUX ÉTUDIANTS SONT AUSSI À L'HONNEUR.

DANS CE NUMÉRO :

LA GUERRE DES MICRO-TRANCHÉES	2
SUIVRE SON ÉTOILE... OU SON PLASMA PRODUIT PAR LASER	3
L'ART DE TROUVER SON ÉQUILIBRE... THERMODYNAMIQUE	4
GRANDES NOUVELLES...	5
... ET PETITES ANNONCES	6

La guerre des micro-tranchées !



UN
SIMULATEUR
POUR LA
GRAVURE PAR
PLASMA

Depuis les années 1960, les dimensions des circuits électroniques n'ont cessé de diminuer afin de répondre à la demande de plus en plus exigeante de l'industrie de l'électronique. De nos jours, une quantité considérable d'informations peut être traitée et stockée sur des supports de silicium de petite taille : les derniers microprocesseurs présentent des motifs de 45 nanomètres. L'outil privilégié pour la réalisation de tels motifs est la gravure par plasma, laquelle est aussi de plus en plus utilisée dans bien d'autres secteurs que la micro-électronique. La réalisation de dispositifs toujours plus petits impose d'être en mesure d'obtenir des profils à très grand rapport d'aspect, parfaitement verticaux ainsi qu'une gravure rapide et très sélective. Dans ce contexte, la modélisation et la simulation numérique sont des outils puissants pour identifier et comprendre les mécanismes de gravure. De plus, le recours à des simulations permet de limiter le nombre d'expériences - coûteuses et longues - en testant les paramètres du plasma qui offrent les meilleurs résultats. Jérôme Saussac sous la direction de Joëlle Margot et de Mohamed Chaker, travaille actuellement sur la conception d'un modèle de gravure de motifs micro- et nanométriques dans un plasma de haute densité. Ce type de plasma fonctionnant à pression très réduite permet d'obtenir des flux d'ions importants par rapport aux flux de neutres réactifs sur les surfaces, permettant ainsi de bénéficier d'une excellente synergie ion-neutre lors du processus de

gravure. Les premiers résultats obtenus en prenant comme exemple de référence la gravure de SiO_2 par un plasma d'argon font état de vitesses de gravure en parfait accord avec les résultats expérimentaux. De plus, les profils issus des simulations cadrent avec les observations relatées dans la littérature. Ils mettent en évidence des artefacts apparaissant lors de la gravure, notamment des micro-tranchées, des parois concaves et des non uniformités microscopiques. Les efforts s'orientent à présent vers la prise en compte des effets chimiques dans le processus de gravure, ce qui permettra de s'attaquer à des matériaux pour lesquels la gravure chimique assistée par les ions domine.

Since the sixties, the dimensions of electronic circuits have been continuously shrinking to respond to the more and more stringent needs of the electronic industry. Nowadays, a considerable amount of information can be treated and stored on small size silicon support. The most recent micro-processors exhibit patterns as small as 45 nanometers. The most employed tool for achieving such pattern size is plasma etching, which is also more and more used in many other sectors. The realization of smaller and smaller devices requests the capability of obtaining high-aspect ratio profiles with highly vertical features, as well as a fast and selective etching. In this context, modeling and numerical simulation are extremely useful tools for precisely understanding the controlling mechanisms. In addition, the

interest of simulation is to considerably limit the number of experiments – costly and time-consuming – by testing the plasma parameters that offer the best results. Jérôme Saussac, supervised by Joëlle Margot and Mohamed Chaker, is presently addressing this question through the development of an etching model for micro- and nanometer patterns in high-density plasmas. This type of plasmas that operates at reduced pressure allows to produce high ion fluxes with respect to the neutral reactive ion fluxes on surfaces. This favours an excellent ion-neutral synergy during the etching process. The first results obtained by taking as a reference example the etching of SiO_2 in an argon plasma reproduce the experimental sputter-etch rates. In addition, the profiles determined by simulation well agree with the observations found in literature. They exhibit several artefacts occurring during etching, including microtrenching, concave walls and microscopic non uniformities. The efforts are now directed towards the inclusion of chemical effects in the etching process, in order to address materials for which ion-assisted chemical etching dominates.

Jérôme Saussac

Conférence

J. Saussac, J. Margot, M. Chaker, *Development of a dry etching profile simulator in a high-density, low-pressure plasma*. AVS 53rd International Symposium, Nov. 2006, San Francisco

Contact
Jerome.saussac@umontreal.ca
Joelle.margot@umontreal.ca
Chaker@emt.inrs.ca



Micro-tranchée obtenue par simulation dans l'oxyde de silicium

Suivre son étoile...

ou son plasma produit par laser !

Les plasmas produits par ablation laser d'une cible solide sont employés dans de nombreuses applications, notamment l'analyse spectrochimique des matériaux et la fabrication de nanoparticules et de couches minces. Dans la plupart des applications des plasmas produits par laser, l'interaction entre le plasma d'ablation et le gaz ambiant joue un rôle crucial sur la qualité des résultats. Dans une atmosphère à faible pression (inférieure à 1 Torr), la diffusion atomique entre les deux milieux sera déterminante. À plus haute pression, la diffusion devient négligeable et le plasma d'ablation pousse sur le gaz ambiant à la manière d'un piston. Dans le but de mieux comprendre l'interaction entre les deux milieux, Kheir Eddine Rifai et François Vidal, son directeur de mémoire de maîtrise, ont simulé l'expansion d'un plasma d'ablation dans un gaz ambiant à haute pression au moyen d'un code fluide unidimensionnel développé à l'INRS. Leurs calculs montrent qu'une onde de choc fortement ionisée est produite dans le gaz ambiant et que l'instabilité de Rayleigh-Taylor (IRT) se développe généralement à l'interface entre les deux milieux. Cette instabilité hydrodynamique, qui mène au mélange des deux fluides par le développement de structures « bulles-piquants », se produit quand un fluide est accéléré vers un autre de densité massique plus faible. L'IRT se manifeste aussi très probablement dans plusieurs phénomènes naturels comme l'explosion des supernovae et la formation de certaines structures géologiques. En combinant les

résultats des simulations unidimensionnelles avec un modèle du type poussée-résistance (buoyancy-drag) pour le développement de l'IRT, les chercheurs ont pu calculer l'évolution de la zone de mélange entre le plasma d'ablation et le gaz associée à l'IRT. Par leurs travaux, ils espèrent ainsi contribuer à mieux comprendre les phénomènes physiques se produisant dans plusieurs applications importantes des plasmas produits par laser, et, pourquoi pas, dans la dynamique des étoiles.

Plasmas produced by laser ablation of a solid target are used in numerous applications like, for example, spectrochemical analysis of materials and fabrication of nanoparticles and thin films. In most applications of laser produced plasmas, the interaction between the ablation plasma and the ambient gas play a crucial role on the quality of the results. In a low pressure atmosphere (below 1 Torr), atomic diffusion between the two media is determinant. At higher pressure, diffusion becomes negligible and the ablation plasma pushes the ambient gas like a piston. In order to better understand the interaction between the two media, Kheir Eddine Rifai and François Vidal, his master thesis supervisor, have simulated the expansion of an ablation plasma in a high-pressure ambient gas by means of a one-dimensional fluid code developed at INRS. Their calculations show that a strongly ionized shock wave is produced in the ambient gas and that the Rayleigh-Taylor insta-

bility (RTI) generally develops at the interface between the two media. This hydrodynamic instability that yields fluid mixing through the development of bubble-spike structures occurs as a fluid is accelerated towards another one of lower mass density. RTI also occurs in several natural phenomena like supernovae explosion and formation of various geological structures. Combining the results of one-dimensional simulations with a buoyancy-drag model for the development of the RTI, the researchers have determined the evolution of the mixing zone between the plasma and the gas. They expect to contribute to a better understanding of physical phenomena taking place in various important applications of laser-produced plasmas, and may be in star dynamics.

Kheir Eddine Rifai

Article

K. Rifai, F. Vidal, *Theoretical investigation of the Rayleigh-Taylor instability in laser-produced plasmas expanding in ambient gases*, soumis à *Physics of Plasmas* (décembre 2006).

Contact

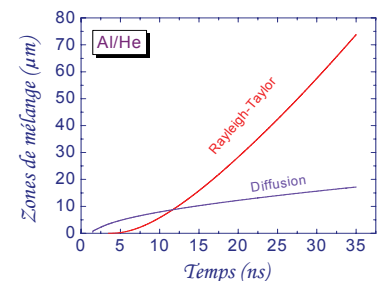
rifaik@emt.inrs.ca

vidal@emt.inrs.ca

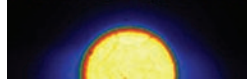


PLASMAS

PRODUITS PAR LASER ET INSTABILITÉ RAYLEIGH- TAYLOR



Évolution de la zone de mélange pour un plasma d'aluminium produit par laser (fluence = 40 J/cm², durée d'impulsion = 1 ns, longueur d'onde = 1064 nm) sous atmosphère d'hélium à 76 Torr.



L'art de trouver son équilibre ...

thermodynamique !



PLASMAS

SUPERSONIQUES

ET EQUILIBRE

THERMO-

DYNAMIQUE

Les jets de plasmas supersoniques sont caractérisés par des gradients de température, de vitesse et de pression très élevés qui leur procurent de nombreux avantages dans des applications industrielles telles que le dépôt de revêtement à basse pression, la synthèse de poudres nanométriques et la simulation des conditions de réentrée atmosphérique des navettes spatiales. L'étude de l'interaction du jet de plasma avec une surface est un des moyens à partir desquels on peut optimiser ces techniques. Dans ce contexte, Yazid Lakaf et ses directeurs de mémoire de maîtrise Maher Boulos et Denis Gravelle se sont livrés à une étude expérimentale des caractéristiques thermiques, ioniques et dynamiques d'un jet de plasma inductif radio fréquence d'argon en écoulement supersonique lors de son impact sur une surface plane. En recourant à une méthode de spectroscopie d'émission, ils ont étudié le champ de rayonnement émis dans la zone située à 10 mm en amont de la plaque pour deux types d'écoulements, l'un sonique (nombre de Mach $M \sim 1$) et l'autre supersonique ($M = 4$). Les auteurs ont étudié l'effet de la puissance injectée dans le plasma et de la distance entre la buse et la plaque sur les profils de température, de densité électronique et de pression suivant l'écoulement du jet de plasma. Les résultats ont permis de montrer l'existence d'un équilibre thermodynamique local dans la zone d'impact lorsque le plasma est sonique et d'un écart à cet équilibre dans le cas d'un écoulement supersonique $M =$

4. Ces résultats expérimentaux coïncident avec ceux obtenus par simulation numérique. L'influence des paramètres expérimentaux sur le jet de plasma constitue une information importante dans le cadre de l'utilisation de ce type de jet pour les revêtements de pièces métalliques, notamment dans le domaine de l'aérospatiale.

Supersonic plasma jets are characterized by steep temperature, velocity and pressure gradients that provide numerous advantages for applications such as low pressure coating deposition, nanometer powder synthesis and simulation of atmospheric reentry of the space shuttle. The investigation of the plasma jet interaction with a surface is one of the means by which one can optimize these techniques. In this context, Yazid Lakaf and his master thesis supervisors Maher Boulos and Denis Gravelle have experimentally studied the thermal, ion and dynamic characteristics of an inductive radiofrequency argon plasma impacting on a plane surface. By using an emission spectroscopy method, they have investigated the radiation field emitted in the region located at 10 mm ahead from the plaque for two types of flows, one of the sonic type (Mach number $M=1$) and the other one supersonic ($M=4$). The authors have determined the influence of the input power in the plasma as well as of the nozzle-plaque distance on the temperature, electron density and pressure profiles along the plasma flow. Results show that the plasma reaches the



Dépôt de matériaux de revêtement
Www.tekna.com

local thermodynamic equilibrium within the impact zone in the sonic case while it is out of equilibrium when $M=4$. These experimental results are in agreement with those obtained from numerical simulation. The influence of the experimental parameters on the plasma jet brings important information related to the use of this kind of jet for coating of metallic pieces, especially in the aerospace domain.

Yazid Lakaf

Conférence

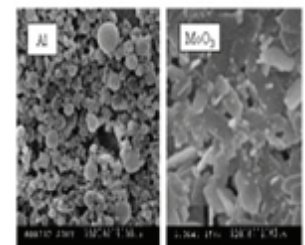
S. Xue, Y. Lakaf, D. Gravelle et M. Boulos, *Modelling and diagnostic study of a supersonic impinging plasma flow near the surface of a substrate*, International Thermal Spray Conference & Exposition, Beijing, Chine (Mai 2007)

Contact

Yazid.lakaf@usherbrooke.ca
Denis.gravelle@usherbrooke.ca
Maher.boulos@usherbrooke.ca



Jet de plasma



Synthèse de poudres nanométriques
Www.tekna.com

Les capsules

- **Prix Synergie pour l'innovation 2006 du CRSNG** : L'Université de Sherbrooke et la compagnie Tekna Systèmes Plasma, membres de Plasma-Québec se sont vu octroyer l'un des *prix Synergie pour l'innovation 2006* du CRSNG dans la catégorie petites et moyennes entreprises. Ce prix vise à récompenser le développement et la commercialisation de systèmes novateurs de torches à plasma inductif applicables à des procédés industriels tels que la synthèse de poudres nanométriques, de dépôt de couches protectrices et la fabrication de pièces formées par projection plasma. Cette fructueuse collaboration repose sur l'initiative de notre collègue Maher Boulos du département de génie chimique de l'Université de Sherbrooke.
- **Réinvestissement en recherche** : Dans le cadre de sa nouvelle stratégie de la recherche et de l'innovation, *Un Québec innovant et prospère*, le gouvernement du Québec a annoncé en décembre dernier un investissement total de 1.2 milliards de dollars pour la recherche et l'innovation. Dans ce cadre, 18,0 M\$ supplémentaires sont attribués au FQRNT pour soutenir des regroupements stratégiques. Parmi les regroupements visés, on a fait explicitement mention de Plasma-Québec. Les détails et modalités de ces réinvestissements seront vraisemblablement connus en février.
- **Brevet** : Notre collègue J.J. Dubowski et ses collaborateurs X. Ding, E.H. Frost, E. Escher ont déposé un brevet international intitulé «Quantum dot template for fast and simultaneous detection of different infectious agents».
- **Comité exécutif de l'AVS** : Joëlle Margot a été élue pour un mandat de 2 ans au comité exécutif de la division Plasma Science and Technology de l'American Vacuum Society.

Plasma-Québec challenges in 2007

Continued from p. 1

Québec has developed a research program that integrates three complementary axes. That is to say that, in plasma science, our members pursue a forefront theoretical and experimental research bringing scientific knowledge advances, noticeably in three areas (1) laser-induced plasmas, (2) high-frequency plasmas and (3) electrode-driven plasmas. In plasma processing, this profound knowledge of the relevant plasma physics is used for innovation and development, particularly in thin film and nanomaterials synthesis, in functional coating deposition, in micro- and nanometer etching, in development of photon sources and elemental analysis. Also, in the domain of plasma-assisted process integration, our knowledge and know-how in plasma science and plasma processing impacts the achievement of specific products contributing to sectors essential for the economic development, especially in information and communication technologies, biomedical, and sustainable development and environment. The original approach adopted by Plasma-Québec was to gather together all the expertise required in the domain of

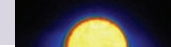
plasmas and applications, as well as supporting the essential Plasma-Québec infrastructure. Despite the current difficult financial climate of FQRNT in 2005-2006, Plasma-Québec was able to attract 2-year funding. Again, to secure continuity, a new proposal should therefore be submitted during next fall (i.e., the fall of 2007).

The beginning of this year of 2007 is thus an excellent opportunity of reviewing our collective objectives, which favour this networking between science, engineering, industry and training all in a domain where Québec is the beneficiary of an undeniable scientific leadership status, both at the national and international levels. On behalf of Plasma-Québec, I wish and anticipate that the present year be particularly fruitful in many aspects: in training, in collaborations and in contributions to Plasma-Québec activities. Happy new year to all members and all readers!

Joëlle Margot

Translated by Tudor Johnston

GRANDES
NOUVELLES ...



Pour nous rejoindre
Téléphone : 514 343 6850
Télécopie : 514 343 2071
Courriel :
info@plasmaquebec.ca

... ET PETITES ANNONCES

Formation

Maîtrises

- *Joëlle Jureidini*
«Design, characterization and optimization of an atmospheric pressure hybrid dielectric barrier discharge reactor and application on a pharmaceutical compound», Dir. S. Coulombe
- *Dominic Lepage*
«Études sur les architectures d'or-semiconducteur pour la photoluminescence assistée par plasmons de surface», Dir. J.J. Dubowski
- *Naveen K. Reddy*
«Study of growth of carbon nanotubes on pure metal and metal alloy electrodes», Dirs. S. Coulombe/J.L. Meunier
- *Sara Yanson*
«Cell treatment and surface functionalization using the atmospheric pressure glow discharge plasma torch (APGD-t), NSERC scholar», Dirs. S. Coulombe/R.L. Leask
- *Ian A. Castillo.*
«Solution plasma synthesis of CeO₂-based powders for solid oxide fuel cell electrolytes from liquid precursors using rf thermal plasma», Dir. R. Munz

Ph.D.

- *Daria Riabinina*
« Synthèse de nanoparticules de Ge et de Si par ablation laser », Dirs. M. Chaker/F. Rosei

Félicitations à tous nos diplômés !

Nouveaux étudiants

Plasma-Québec est heureux d'accueillir de nouveaux étudiants.

Maîtrise : Edward Swanson (Coulombe)

Ph.D. : Romain Beal (Dubowski), François Levac (Moisan), Anca Crina Popovici (Ozaki/Vidal), Kheir Eddine Rifai (Vidal), Martin Lennox (Coulombe), Jocelyn Veilleux (Coulombe), Jason Tavares (Coulombe)

Nouveau site Web

Le site web de Plasma-Québec est de nouveau opérationnel. La partie en français a été partiellement rénovée. Une nouvelle rubrique, Bulletin, s'est ajoutée. D'autres suivront, ainsi que la version en anglais.

Parutions

- Notre collègue J.J. Dubowski co-édite le livre «Photon-based Nanoscience and Nanobiotechnology», paru en novembre 2006 chez Springer. Cet ouvrage fait suite à un NATO Advanced Study tenu à Sherbrooke en 2005. Pour plus d'information, consulter le site <http://www.springer.com/dal/home/default?SGWID=1-40356-22-173682138-0>.



A votre agenda

Rappel

- Nano and Giga School, 12—16 mars 2007, Phoenix en Arizona. Pour plus d'informations, contacter Federico Rosei.
- International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 15—20 juillet 2007, Prague .
- 18ème International Symposium on Plasma Chemistry, 26—31 août 2007, Kyoto.
- Le colloque annuel de Plasma-Québec intitulé « Plasmas : défis actuels et futurs » se tiendra à Trois-Rivières le 10 mai 2007 dans le cadre du congrès de l'ACFAS. Le programme sera disponible bientôt sur le site Web de Plasma-Québec et paraîtra dans le bulletin Plasma-Québec Express du mois d'avril.

Nouveautés

- Notre collègue J. Dubowski co-présède le "Laser and applications in science and engineering symposium" de Photonics West du 20 au 25 janvier 2007 à San José.
- L'édition 2007 du "Euro-Mediterranean Symposium on LIBS" (EMSLIBS 2007) aura lieu à Paris du 11 au 13 septembre.
- La conférence COLA 2007 – 9th International Conference on Laser Ablation - se tiendra du 24 au 28 septembre 2007 à Tenerife, en Espagne.
- Le 54th International Symposium de l'American Vacuum Society aura lieu à Seattle du 14 au 19 octobre 2007.
- Le congrès 2008 de l'ACFAS sera organisé par l'INRS.

Nous serons heureux de recevoir vos commentaires aux coordonnées apparaissant en haut de cette page.



18ème International Symposium on Plasma Chemistry