

# Rapport d'Etonnement

9 décembre

2010

Rédigé par :

Marie KERMARREC – ARDI Rhône Alpes

Département Matériaux et Procédés

## PLASMAS FROIDS ET ENERGIE

Conversion, stockage et économie  
d'énergie grâce aux traitements de  
surface par plasmas froids



## Sommaire

Introduction .....	3
I. Présentation de l'Événement .....	3
1. L'organisateur de l'événement et les participants .....	3
2. Quels sont les thèmes/axes abordés .....	3
II. Le Contenu / Programme/Organisation .....	4
1. Mise en situation (Table ronde/rendez-vous d'affaire/atelier, stands...)	4
2. Programme de l'événement .....	5
III. Le Bilan/prévisions.....	6
1. « Feedback » .....	6
2. Les Résultats.....	8
Conclusion .....	9
Remerciements.....	9
Contacts / Liens Utiles .....	9
Annexes .....	9





## 2. Programme de l'événement

Les intempéries qui ont sévi sur la France (chutes de neige) ont quelque peu bouleversé le programme, entraînant notamment l'annulation d'une des deux conférences d'ouverture.

Mot d'ouverture par le Président de séance

*Michel MARTIN, HEF R&D*

### Conférences d'ouverture

Intégration des procédés plasmas froids dans l'énergie

*Christophe VALLEE, Laboratoire des Technologies de la Microélectronique (LTM) – CEA/LETI – MINATEC*

Applications industrielles potentielles des technologies plasma en conversion et stockage de l'énergie (annulée)

*Jean-Christophe ROSTAING, Air Liquide*

### Plasmas froids pour la production d'énergie

Les plasmas froids : état de l'art et perspectives dans le domaine du PV à base de couches minces de silicium

*Pere ROCA, LPICM*

Applications des procédés PE-CVD dans l'élaboration des cellules photovoltaïques flexibles

*Patrick CHOQUET, LIPPMAN*

Les plasmas froids appliqués aux absorbeurs solaires thermiques.

*Laurent DUBOST, HEF R&D*

Présentation de la plate-forme IAP3 (Plate-forme Internationale des Procédés Plasma Avancés)

*Ana LACOSTE, LPSC*

### Plasmas froids pour le stockage de l'énergie

Application de la pulvérisation cathodique magnétron aux piles à combustible

*Pascal BRIOIS, LERMPS*

Derniers développements dans le domaine des microbatteries lithium

*Steve MARTIN, CEA – LITEN / DTNM / LCMS*

### Plasmas froids pour des économies d'énergie

Apport des technologies plasmas dans la réduction des pertes par frottement

*René GRAS et Muriel QUILLIEN, ISMEP Supméca*

Plasmas froids : des technologies économes en énergie pour les traitements de surface (annulée)

*Yvan CORRE, Bodycote*

### III. Le bilan/prévisions

#### 1. « Feedback »

Après un bref historique sur le réseau plasmas froids et sur le rôle de l'ARDI Rhône-Alpes au sein de ce réseau, Michel MARTIN, ingénieur de HEF R&D et président de séance, a orchestré cette journée et les différentes conférences.

Christophe VALLEE, chercheur au CEA-LETI-MINATEC-LTM, débute la journée par une présentation des procédés plasmas froids utilisables dans le domaine de l'énergie. Il insiste sur le fait que si la diversité des procédés plasmas peut être un frein pour un utilisateur industriel (difficulté à sélectionner un procédé et à savoir ce qui fait la différence entre plusieurs procédés), c'est en fait une richesse ! En effet, ces procédés sont évolutifs et ils s'adaptent aux besoins croissants en terme de conformité par exemple (structures 3D). Il montre également que les procédés plasmas permettent à chaque instant d'élaborer des matériaux à propriétés uniques et s'appuie sur un exemple d'hydrogénation du BTO (BaTiO<sub>3</sub>) pour obtenir un électrolyte solide utilisable dans des supercondensateurs. Il termine son intervention en rappelant qu'il reste de nombreux challenges à relever pour le futur avec par exemple le dépôt par PECVD de graphène à basse température et sans catalyseur, pour des applications de type électrode conductrice transparente ou pour des supercondensateurs.

Père ROCA, chercheur au LPICM, dresse pour sa part un état de l'art et les perspectives des couches minces de silicium dans le domaine du photovoltaïque (silicium amorphe hydrogène ou Si:H, alliages de silicium avec du carbone et du germanium, silicium nano et microcristallin...). En effet, la fabrication de différents types de cellules (PIN, hétérojonctions, jonctions radiales) s'appuie sur une large palette de matériaux, élaborés par plasmas à basse température, qui conduisent à de hauts rendements (> 30 %) à bas coût. Des équipementiers proposent aujourd'hui des usines clés en main pour la réalisation de modules solaires sur des plaques de verre de plus de 5 m<sup>2</sup>. Il évoque largement les travaux menés aux LPICM depuis quelques années : le silicium polymorphe, matériau nano structuré, est constitué de nano cristaux de silicium synthétisés dans le plasma, qui s'incorporent au dépôt en même temps que les radicaux. Ce matériau présente des propriétés améliorées par rapport à celles du a-Si:H, tout en étant déposé à plus grande vitesse... et reste une voie d'avenir non négligeable dans le domaine du solaire photovoltaïque.

Patrick CHOQUET, chercheur au LIPPMANN (Luxembourg), complète cet état des lieux en présentant les dépôts couches minces sur des supports souples utilisés pour la réalisation de cellules photovoltaïques. Ces cellules restent encore un produit émergent avec une attente économique forte grâce à une réduction des coûts de production par l'utilisation d'installations en continu (roll-to-roll) de forte capacité et avec aussi une attente commerciale sur de nouveaux produits pour les marchés de l'électronique, du transport... Parmi les technologies possibles pour déposer les couches minces en continu, les procédés de dépôts chimiques assistés par plasma (PACVD) font maintenant l'objet de développements à l'échelle industrielle pour l'élaboration des couches actives ou passives qui constituent la cellule (couches semi-conductrices n-i-p, les couches antireflets, les couches barrières...). La production et la commercialisation des cellules solaires sur substrats souples dépendent fortement des résultats des recherches qui permettront d'obtenir des couches barrières avec des hautes performances. Les études en cours ont pour objectif de diminuer la perméabilité à l'oxygène et à la vapeur



# ARD I

pulvérisation cathodique est une technique qui a déjà fait ses preuves au plan technique. La mise au point d'électrolytes conducteurs de l'ion oxyde ou du proton, respectivement pour les SOFC ou les PCFC, pose des problématiques analogues. En effet, l'électrolyte doit être dense, compatible avec les matériaux d'électrodes, stables chimiquement et avoir la plus faible résistance ionique possible. Les matériaux d'anode (cermet Ni-électrolyte) et de cathode (conducteurs mixtes) doivent être poreux et ont également été synthétisés par dépôt physique, ne serait ce que comme couche d'accroche d'une électrode épaisse réalisée par chimie douce. Il appuie sa démonstration sur les performances obtenues sur une mono-cellule de SOFC dont l'électrolyte a été élaboré par un dépôt physique. Ces travaux, qui restent pour le moment à un stade de recherche, pourraient trouver dans les années à venir des débouchés industriels.

Steve MARTIN, chercheur au CEA-LITEN/DTNM/LCMS, explique que depuis quelques années, les techniques de micro-fabrication, développées dans le domaine de la microélectronique, se sont étendues aux domaines des capteurs ainsi que du stockage et de la récupération d'énergie. Ces avancées technologiques permettent aujourd'hui d'envisager la réalisation monolithique de capteurs intégrés aux fonctionnalités avancées, pour lesquels l'autonomie se révèle bien souvent indispensable. La technologie des micro-batteries, telle que développée au CEA Grenoble, est une solution de stockage de l'énergie adaptée à ces systèmes miniaturisés. En effet, ces batteries entièrement solides (obtenues par une succession de multicouches déposées par pulvérisation ou par évaporation et encapsulées par PECVD) présentent un degré d'intégrabilité et de résistance aux températures élevées qui les rendent parfaitement compatibles avec les procédés standards de la micro-électronique. De plus leur excellente cyclabilité et faible autodécharge en font de parfaits candidats pour les applications autonomes (capteurs embarqués, par exemple). Des exemples de réalisation concrets à l'échelle industrielle ont permis de conclure cette présentation : remplacement d'une pile bouton dans un élément standard de microélectronique assemblé à 200 °C ; alimentation de MEMS en silicium qui fonctionne par force électrostatique mais qui utilisent peu de courant ; micro-batterie pour sécuriser une carte à puce...

Pour terminer cette journée, René GRAS, chercheur à l'ISMEP Supméca, passe en revue les apports des technologies plasmas dans la réduction de frottement. En effet, les couches minces obtenues par les technologies plasmas, offrent une large palette de procédés qui permettent d'apporter des solutions à de nombreux problèmes de tribologie et notamment dans le domaine des économies d'énergie perdue par frottement. Après un rappel sur les apports de la tribologie pour limiter les pertes d'énergie, il précise les principales contraintes imposées aux surfaces pour atteindre cet objectif. Passant de la théorie à la pratique, il illustre ses propos en montrant des exemples de couches minces réalisées par des technologies plasmas, quelques études de cas tirées d'applications des industries aéronautiques, spatiales, automobiles, de mise en forme de composants par coupe ou déformation. Il termine son intervention en rappelant quelques règles de conception pour des composants mécaniques à usage tribologique pour pour utiliser dans les meilleures conditions les revêtements obtenus par les technologies plasmas.

## 2. Les résultats

### Synthèse des objectifs.

La session posters : 4 posters de travaux scientifiques ont été affichés lors de cette journée. D'après le questionnaire d'évaluation de la journée, près de 90 % des participants ont regardé

## A R D I

ces posters (entre 5 et 20 minutes ont été consacré) et certains ont apprécié de pouvoir discuter avec les auteurs des posters quand ils étaient présents pour assurer les commentaires.

**Une visite de la plate-forme IAP3** : plus de 50 % des participants ont participé à la visite des moyens du LPSC (laboratoire du CNRS, de l'Université Joseph Fourier et de Grenoble-INP) dans le domaine des sources plasmas. Deux équipes du LPSC qui travaillent sur des technologies différentes et complémentaires ont ainsi pu présenter leurs travaux. Il faut espérer que de ces visites résulteront à plus ou moins long terme des transferts de technologies vers des entreprises mettant en œuvre des plasmas froids.

## Conclusion

Cette journée, très technique et riche en échanges entre initiés, a permis de faire le point sur l'utilisation des technologies plasmas froids dans le domaine en plein essor qu'est celui des énergies. Les technologies plasmas froids ont de beaux jours devant elles, du fait notamment de leur caractère sobre et propre, et de la possibilité de réaliser des dépôts complexes qui apportent des fonctionnalités différentes et complémentaires.

On retiendra qu'un certain nombre de technologies émergent tout juste des laboratoires et qu'il faudra encore attendre quelques années pour pouvoir tirer un bilan sur la réussite du transfert industriel réalisé.

## Remerciements

Nous remercions Floralis pour la mise en place des inscriptions en ligne sur leur site Internet et pour avoir assuré l'accueil lors de cette manifestation.

## Contacts / liens Utiles

Site Internet du Réseau Plasmas Froids : <http://plasmas.agmat.asso.fr>

## Annexes

En compléments et optionnels des docs associés (contenu, bookmarks, ppt, films...)