

Proposition de thèse

Titre : Synthèse d'électrodes transparentes à base de carbone : applications dans les domaines du photovoltaïque, de l'optoélectronique et des composants biocompatibles

Directeur(s) de Thèse : Frédéric Antoni frederic.antoni@icube.unistra.fr
Unité(s) d'Accueil(s) : Laboratoire ICube (Département D-ESSP, équipe IPP)
Établissement de rattachement : Université de Strasbourg
Collaboration(s) (s'il y a lieu) : IS2M
Rattachement à un programme (s'il y a lieu) : IDEX Attractivité 2020 - Unistra

Résumé :

L'un des grands défis que les technologies d'affichage (LCD, OLeds...), dispositifs optoélectroniques et photovoltaïques devront affronter dans un futur proche est de trouver une alternative à l'utilisation d'oxydes conducteurs transparents tel l'oxyde d'indium-étain (ITO) [1]. Le graphène, un matériau 2D conducteur et transparent à base de carbone apparaît comme une alternative attractive à l'ITO. Cependant, son transfert sur grandes surfaces est complexe et délicat à mettre en œuvre [2].

Lors de ces quatre dernières années, un procédé original a été mis au point au sein du laboratoire ICube. Le procédé d'élaboration comprend deux étapes. Dans un premier temps, une fine couche (d'environ 20 nm) de carbone amorphe adamantin (Diamond-Like Carbon : DLC) [3] est synthétisée sous vide et à température ambiante par ablation laser pulsée (PLD) d'une cible de graphite pur et déposée sur un substrat isolant et transparent (verre, quartz...) dans le cas où une électrode transparente doit être obtenue. Le dépôt peut cependant être obtenu de façon identique sur tout type de substrats (conducteur, souple, polymères...). Deux des principales propriétés du DLC sont sa transparence dans le domaine visible et son fort caractère isolant. Il présente cependant un caractère partiellement opaque dans le domaine ultraviolet. C'est cette propriété qui est exploitée dans une seconde étape dans laquelle un traitement laser UV uniforme à très basse énergie de la couche déposée permet la graphitisation de sa surface par balayage, la rendant conductrice tout en conservant sa transparence. Les performances prometteuses des premières couches sont égales voire supérieures à celle d'un ITO standard (en termes de transmittance et de conductivité) [4-7].

Dans le cadre de ce sujet de thèse, nous proposons de développer des électrodes de haute qualité sur de grandes dimensions de sorte à les adapter à un grand nombre d'applications. L'utilisation d'électrodes basées sur du carbone pur permettrait d'offrir une forte compatibilité avec un grand nombre de matériaux en assurant également une grande inertie chimique ainsi qu'une biocompatibilité. L'utilisation du carbone a également l'avantage d'afficher une compatibilité totale avec les processus standards de la microélectronique. L'équipe SMH du laboratoire et en particulier les travaux du Pr L. Hébrard sur les capteurs magnétiques offre l'opportunité d'utiliser ce matériau dans le cadre de ses travaux d'implantation d'électrodes dans des cerveaux de souris analysés sous IRM par exemple.

De nombreuses autres applications biomédicales pourront se développer dans le cadre de nouvelles collaborations. Un procédé basse température basé uniquement sur des technologies laser garantit une compatibilité avec la quasi-totalité des substrats. L'utilisation du carbone assure une très grande inertie chimique quel que soit l'environnement de travail permettant également un faible coût de production.

Références :

- [1] "Touch Display Research", ITO-Replacement—Non-ITO Transparent Conductor Technologies, Supply Chain, and Market Forecast Report, May 2013.
- [2] "Direct synthesis of graphene on any metallic substrate based on KrF laser ablation of ordered pyrolytic graphite", Xu S.C., Man B.Y., Jiang S.Z., Liu A.H., Hu G.D., Chen C.S., Liu M., Yang C., Feng D.J., and Zhang C., Laser Physics Letters 11 (2014) 0960011/1.
- [3] "Diamond-Like amorphous carbon", Materials Science and Engineering, Robertson J., R37 (2002) 129.
- [4] Pure carbon conductive transparent electrodes synthesized by a full laser deposition and an annealing process. F. Stock, F. Antoni, D. Aubel, S. Hajjar-Garreau and D. Muller. Accepté pour une publication dans « Applied Surface Science ».
- [5] "UV laser annealing of Diamond-Like Carbon layers obtained by Pulsed Laser Deposition for optical and photovoltaic applications", F. Stock, F. Antoni, L. Diebold, C. Chowde Gowda, S. Hajjar-Garreau, D. Aubel, N. Boubiche, F. Le Normand and D. Muller, Applied Surface Science 464 (2019) 562-566.
- [6] "High performance diamond-like carbon layers obtained by pulsed laser deposition for conductive electrode applications.", F. Stock, F. Antoni, F. Le Normand, D. Muller, M. Abdesselam, N. Boubiche, I. Komissarov. Applied Physics A (2017) 123:590.
- [7] Pure carbon conductive transparent electrodes synthesized by a full laser deposition and an annealing process, F. Stock, F. Antoni, D. Aubel, S. Hajjar-Garreau, D. Muller, Applied Surface Science 505 (2020) 144505.

Thesis proposal

Title: **Synthesis of transparent carbon-based electrodes: applications in the fields of photovoltaics, optoelectronics and biocompatible components**

Thesis supervisor: Pr Frédéric Antoni, frederic.antoni@icube.unistra.fr

Host Unit: ICube Laboratory (D-ESSP Department, IPP team)

Affiliate institution: University of Strasbourg

Collaboration(s) (if applicable): IS2M

Attachment to a program (if applicable): IDEX Attractiveness 2020 - Unistra

Summary:

One of the great challenges that display technologies (LCD, OLEDs, etc.), optoelectronic and photovoltaic devices will have to face in the near future is to find an alternative to the use of transparent conductive oxides such as indium oxide. -tin (ITO) [1]. Graphene, a conductive and transparent 2D carbon-based material appears to be an attractive alternative to ITO. However, its transfer over large surfaces is complex and delicate to implement [2].

Over the past four years, an original process has been developed in the ICube laboratory. The development process consists of two steps. First, a thin layer (about 20 nm) of amorphous adamantine carbon (Diamond-Like Carbon: DLC) [3] is synthesized under vacuum and at room temperature by pulsed laser ablation (PLD) of a target of pure graphite and deposited on an insulating and transparent substrate (glass, quartz, etc.) if the case of a transparent electrode must be obtained. The deposit can however be obtained in an identical manner on any type of substrate (conductive, flexible, polymers, etc.). Two of the main properties of the DLC are its transparency in the visible range and its strong insulating character. However, it has a partially opaque character in the ultraviolet range. This property is exploited in a second step in which a uniform UV laser treatment at very low energy of the deposited layer allows the graphitization of its surface by scanning, making it conductive while maintaining its transparency. The promising performance of the first layers is equal to or even better than that of standard ITO (in terms of transmittance and conductivity) [4-7].

As part of this thesis subject, we propose to develop high quality electrodes on large dimensions so as to adapt them to a large number of applications. The use of electrodes based on pure carbon would provide strong compatibility with a large number of materials while also ensuring high chemical inertness as well as biocompatibility. The use of carbon also has the advantage of showing full compatibility with standard microelectronic processes. The SMH team of the laboratory and in particular the work of Prof. L. Hébrard on magnetic sensors offers the opportunity to use this material within the framework of its work of implanting electrodes in the brains of mice, analyzed by MRI by example.

Many other biomedical applications could be developed within the framework of new collaborations. A low temperature process based solely on laser technologies guarantees compatibility with almost all substrates. The use of carbon ensures a very high chemical inertia whatever the working environment, also allowing a low production cost.

References:

- [1] "Touch Display Research", ITO-Replacement—Non-ITO Transparent Conductor Technologies, Supply Chain, and Market Forecast Report, May 2013.
- [2] "Direct synthesis of graphene on any metallic substrate based on KrF laser ablation of ordered pyrolytic graphite", Xu S.C., Man B.Y., Jiang S.Z., Liu A.H., Hu G.D., Chen C.S., Liu M., Yang C., Feng D.J., and Zhang C., Laser Physics Letters 11 (2014) 0960011/1.
- [3] "Diamond-Like amorphous carbon", Materials Science and Engineering, Robertson J., R37 (2002) 129.
- [4] Pure carbon conductive transparent electrodes synthesized by a full laser deposition and annealing process. F. Stock, F. Antoni, D. Aubel, S. Hajjar-Garreau and D. Muller. Accepted pour une publication dans « Applied Surface Science ».
- [5] "UV laser annealing of Diamond-Like Carbon layers obtained by Pulsed Laser Deposition for optical and photovoltaic applications", F. Stock, F. Antoni, L. Diebold, C. Chowde Gowda, S. Hajjar-Garreau, D. Aubel, N. Boubiche, F. Le Normand and D. Muller, Applied Surface Science 464 (2019) 562-566.
- [6] "High performance diamond-like carbon layers obtained by pulsed laser deposition for conductive electrode applications.", F. Stock, F. Antoni, F. Le Normand, D. Muller, M. Abdesselam, N. Boubiche, I. Komissarov. Applied Physics A (2017) 123:590.
- [7] Pure carbon conductive transparent electrodes synthesized by a full laser deposition and annealing process, F. Stock, F. Antoni, D. Aubel, S. Hajjar-Garreau, D. Muller, Applied Surface Science 505 (2020) 144505.