



CSCNEWS

Bulletin d'information N° 4 Décembre 2013



Inauguration du siège du CSC



Visite du Ministre Tunisien
de l'Enseignement Supérieur



Journée de partenariat

Evénements

Centre National de Recherche en Soudage et Contrôle

C S C

CSC, Route de Dély-Ibrahim - BP 64 - Chéraga, Alger

Tél : 021 37 10 04 Fax : 021 36 18 50 Site web : <http://www.csc.dz>



Directeur de publication

Dr. YAHY Mostepha

Responsable de rédaction

Dr. BENAMMAR Abdessalem

Comité de rédaction

Dr. BENAMMAR Abdessalem

Dr. HADDAD Ahmed

HAMCHAOUI Nadia

HEDID Dounia

MEBTOUCHE Ahmed

SMAILI Fatiha

Infographie

HEDID Dounia

IRID Louiza

Coordination scientifique

Dr. BADIDI BOUDA Ali

Dr. BADJI Riad

Dr. DRAI Redouane

Dr. ZERGOUG Mourad

Publié par le CSC

E_mail: bulletin@csc.dz

[Http://www.csc.dz](http://www.csc.dz)

Route de Dély-Ibrahim -

BP 64 - Chéraga, Alger

Tél : 021 37 10 04

Fax : 021 36 18 50

Sommaire



3

Editorial



4

Evénements



8

**Recherche et
développement**



16

**Zoom
sur un Projet**



18

Publications



CSC NEWS

**Bulletin d'information semestriel du Centre
National de Recherche en Soudage et Contrôle**

Editorial

L'Unité de Recherche en Technologie Industrielle (URTI), rattachée au Centre National de Recherche en Soudage et Contrôle (CSC), a été créée en mars 2011. Cette structure de Recherche est implantée à Annaba et a pour mission d'une part, d'effectuer et d'évaluer toute recherche présentant un intérêt pour l'avancement de la science ainsi que pour le progrès économique, social et culturel du pays et, d'autre part, de contribuer à l'application et à la valorisation des résultats de ces recherches.

Aujourd'hui, toutes les industries doivent être durables et compétitives pour apporter les biens attendus par les populations.

La clé de cette compétitivité et de cette durabilité repose principalement sur l'innovation laquelle est fortement corrélée à la recherche et à la connaissance : Le progrès économique est par essence fortement lié au monde industriel.

La stratégie de l'URTI s'articule autour de deux priorités :

- Accentuer l'implication de l'URTI dans le développement économique,
- Accroître l'efficacité du transfert des résultats de la recherche vers le monde socio-économique.

Les actions de l'URTI sont organisées en deux pôles définis par deux divisions de recherche :

- Division Mécatronique et maintenance industrielle :

Cette division a pour mission de développer des recherches dans le domaine de la mécatronique et de la maintenance industrielle. Elle est également chargée d'appliquer ses résultats de recherche dans les industries agroalimentaire, chimique, mécanique, etc.

Les thématiques développées au niveau de cette division sont directement liées au développement des technologies de l'industrie, à savoir :

- Maintenance et sécurité industrielle,
- Matériaux, capteurs et instrumentation,
- Développement des procédés de production,
- Automatique, modélisation et simulation.

- Division Matériaux à usage extrême :

Cette division a pour mission de développer des thématiques de recherche dans le domaine de la conception, l'élaboration et la caractérisation des matériaux céramiques thermomécaniques, piézoélectriques, bio-verres, et des matériaux composites.

Les projets de recherche seront abordés avec la stratégie d'imbriquer toutes les étapes du développement des matériaux jusqu'à la structure et d'y inclure le suivi de leur évolution pendant ces étapes.

Nous essayons d'apporter des solutions pratiques qui peuvent contribuer à l'amélioration significative des éléments économiques avec une ouverture de grande qualité sur un secteur en plein essor aux conséquences économiques et stratégiques considérables.



M. MERADI Hazem
Directeur de l'URTI/CSC – Annaba

Inauguration du siège du CSC

Le Pr. Rachid HARAOUBIA, ex-Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, a inauguré le jeudi 23 mai 2013 le nouveau siège du Centre National de Recherche en Soudage et Contrôle (CSC), situé à Chéraga.

Accompagné du ministre du Tourisme et de l'Artisanat M. Mohamed BENMERADI et du Pr. Hafid AOURAG, Directeur Général de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique (DGRSDT), l'ex-Ministre s'est rendu dans les différents laboratoires, ateliers et divisions de recherche du nouveau siège. Ces lieux, où l'enjeu principal est la recherche et l'innovation, ont été aménagés avec des équipements de pointe de façon à garantir les meilleures conditions de travail.

L'ex-Ministre a pu également constater la place importante qu'occupe le CSC dans le secteur de la recherche scientifique ainsi que dans le secteur industriel.

En effet, avec ses quatre Brevets d'invention et ses nombreuses publications et communications internationales, le CSC se distingue par son implication dans le monde industriel en valorisant les résultats de ses recherches.

Les deux ministres n'ont pas caché leur satisfaction quant au travail accompli par les jeunes chercheurs qui ont été vivement encouragés dans leur noble mission et félicités pour leur sérieux et leur humilité malgré les conditions difficiles dans lesquels ils exerçaient. Ils ont réussi à hisser l'Algérie au rang de leader dans le domaine du soudage et du Contrôle Non Destructif au plan continental. Ce nouveau siège sera pour eux un lieu d'inspiration, de recherche et d'innovation.



Journée sur l'ISO

Le CSC a pour mission de développer des programmes de recherche nécessaire à la promotion des techniques de soudage et de contrôle non destructif. Il contribue également à la formation et à la qualification du personnel opérant dans son domaine de vocation et dispose depuis plus de vingt ans d'une assistance technique qui intervient dans l'inspection et le contrôle non destructif.

Convaincu de ses compétences et dans le but de renforcer la rigueur dans les méthodes de travail et de conquérir de nouveaux marchés, le CSC active pour lancer une procédure d'accréditation de ses laboratoires selon la norme ISO/CEI 17025 et la certification de son administration selon la norme ISO 9001.

A cet effet, une journée d'étude sur la normalisation a été organisée le 23 juillet 2013 au sein du CSC afin de sensibiliser le personnel et de discuter l'application de ces normes. Cette journée a regroupé tous les responsables des divisions, des laboratoires et des ateliers ainsi que le personnel de soutien à la recherche. La séance a été ouverte par le directeur du centre, Dr. YAHY Mostepha, qui a évoqué



EVENEMENTS

le parcours et les ambitions du centre ainsi que le véritable but de la démarche qualité. Plusieurs présentations ont été données notamment celle du Dr. BOUHOUCHE Salah, directeur de l'Unité URASM et Expert à ALGERAC, qui a passé en revue les possibilités de certification selon la norme ISO 9001 pour les institutions déjà accréditées. M. MAZARI Mohamed, responsable à la filiale CSC-Expertise, a clairement expliqué les principes de base de la norme ISO 9001. Dans son intervention, Dr. DRAI Redouane, directeur de division au CSC et évaluateur expert à ALGERAC, a expliqué techniquement la possibilité d'appliquer la norme ISO/CEI 17025 aux laboratoires tout en étant certifié ISO 9001, puisqu'un laboratoire peut développer un système qualité répondant à la fois aux exigences de ces deux normes.

A la fin de cette journée d'étude, un débat fut ouvert à toute l'assemblée où des questions sur les procédures administratives et les avantages de l'accréditation furent posées et traitées.

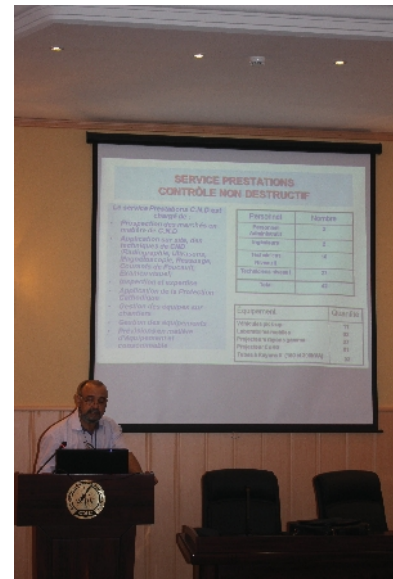


Journée sur la filialisation

Dans la perspective d'assurer un meilleur rapprochement avec le secteur socio-économique et afin de séparer les activités de recherche des activités commerciales, une réunion de travail organisée par la Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique (DGRSDT) s'est tenue le 31 juillet 2013, à la salle de conférence du CSC, en présence des directeurs et représentants de plusieurs centres de recherche dont : le CERIST, le CREAD, le CDTA, le CRAPC et le CRTSE.

La séance fut ouverte par Monsieur SAHRAOUI Tahar, directeur d'études à la DGRSDT, qui a expliqué le motif et le contexte de cette réunion, ainsi que les avantages et les opportunités qui pourraient s'offrir aux centres de recherches grâce à la filialisation.

Etant le premier centre de recherche à procéder à la filialisation, le CSC a tenu à mettre en exergue son expérience et son savoir faire dans ce domaine : Monsieur BENZOHRA Mourad, Directeur Général de la filiale CSC-Expertise a fait une présentation sur toutes les procédures de mise en place d'une filiale commerciale. L'orateur a précisé que la création de "CSC-Expertise" est passée par un long processus qui a duré plus de deux ans, démarrant d'un simple département technique pour aboutir à la première filiale par actions (SPA) dépendante d'un centre de recherche en Algérie. Cette présentation a suscité l'intérêt de toute l'assistance et un débat a été lancé pour discuter les perspectives pour 2014, à savoir la filialisation de tous les centres de recherche en Algérie.



EVENEMENTS



Journée de partenariat

Sous le haut patronage de Monsieur le Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, le Centre National de Recherche en Soudage et Contrôle (CSC) a organisé, le 22 octobre 2013 au siège du CSC à Chéraga, une journée de partenariat "Recherche - Industrie" dans le domaine de la métallurgie, le soudage, le Contrôle Non Destructif (CND) et les techniques classiques utilisées par le CSC pour la réalisation des prestations de services, à savoir :

- Le contrôle ultrasonore par contact,
- La radiographie argentique,
- La magnétoscopie avec produit chimique.

L'objectif principal de cette rencontre était de vulgariser davantage les techniques avancées maîtrisées par le centre qui pourront être mises à la disposition de l'industrie nationale en contribuant ainsi au renforcement de la collaboration entre la communauté scientifique et le secteur industriel.

Parmi ces techniques, on peut citer :

- Le contrôle des canalisations par ondes guidées,
- Le contrôle par soudes multiéléments,
- Le Contrôle par thermographie infrarouge,
- Le contrôle par flux de fuite magnétique (MFL).

En plus des universités, des institutions nationales et plusieurs entreprises stratégiques nationales et étrangères ont participé à cette journée, il s'agit notamment :

du Ministère de la Défense Nationale, SONATRACH – SONELGAZ – Naftal – Général Electric – Organisation Ourhoud – Bonati, etc.

Journée de travail sur la Corrosion et la Protection des Matériaux

Le Centre National de Recherche en Soudage et Contrôle a organisé le dimanche 9 juin 2013 une journée de travail sur la corrosion et la protection des matériaux. Après l'ouverture de la journée par le Dr. R. BADJI, directeur adjoint au CSC, le Dr. M. ZERGOUG, directeur de la division des Procédés Électriques et Magnétiques (DPEM) et Melle A. ZIOUCHE, directrice de division de corrosion (DC), deux plénières ont été présentées par le Pr. N. FENINECHE et le Pr. R. KHERRAT sur les capteurs électrochimiques et les inhibiteurs de corrosion.

Aussi, deux ateliers ont été assurés par le Dr. A. BADIDI BOUDA, directeur de Division de Caractérisation et Instrumentation (DCI) et le Dr. R. DRAI, directeur de Division de Traitement du Signal et Imagerie (DTSI).



EVENEMENTS

traité l'étude des phénomènes de corrosion ainsi que les inhibiteurs et les revêtements. Cette journée a permis :

- de présenter les travaux de recherche entrepris par le CSC en Algérie et à l'étranger,
- de donner les orientations aux chercheurs de la division de corrosion, protection et durabilité des matériaux, permettant de définir les thématiques de recherche susceptibles d'être développées au CSC,
- d'établir et de renforcer les relations entre la division de corrosion, protection et durabilité des matériaux et l'URASM, en vue de la constitution d'équipes mixtes.



Visite du Ministre Tunisien de l'Enseignement Supérieur

Le Ministre Tunisien de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Moncef BENSALÉM, a effectué en juin dernier, en présence du Pr. Hafid AOURAG, Directeur Général de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique, une visite au CSC dans le cadre du partenariat et des échanges culturels entre les deux pays.

L'hôte de l'Algérie a indiqué que cette visite vient renforcer la coopération Algéro-Tunisienne dans le secteur de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Il a exprimé son admiration devant les infrastructures du CSC, notamment pour les équipements des ateliers et des laboratoires.



Exploring equilibrium properties of spin-crossover nanoparticles through a deformable lattice model : A Monte Carlo study.

H. Oubouchou^{1,2}, M. Zergoug¹, N. Haine³, A. Slimani², and K. Boukheddaden²

1 Centre de Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle, Division des Procédés Electriques et Magnétiques, Route de Dély-Ibrahim - BP 64 Chéraga, Alger, Algérie

2 Groupe d'Etudes de la Matière Condensée UMR8635, CNRS-Université de Versailles /St. Quentin en Yvelines. 45 Avenue des Etats Unis, F78035 Versailles Cedex.

3 Faculté de Physique, Université de Sciences et de Technologies Houari Boumédién 16111 al alia, babezzouar Alger, Algérie

I. Introduction

The thermally induced spin crossover (SC) transition between the low spin (*LS*) and the high spin (*HS*) states of *Fe(II)* complexes with suitable ligands, are examples of molecular bistable solids. They have been studied [1–9] for many years due to their promising applications as materials for information storage. Their bistability, originating from intra-molecular vibronic coupling, can be enhanced by inter-molecular interactions. At the solid state, the elastic interactions constitute the basic mechanism from which the richness of the behavior of these systems is originated. They lead to rather abrupt thermal spin transitions, and in many cases even to hysteresis behavior denoting a first-order phase transition or two-step spin transition [10–12], instead of a gradual transition corresponding to the simple Boltzmann distribution between two states, which are generally obtained in highly diluted crystals (i.e. non cooperative systems).

From the theoretical point of view, recent investigation using distortable lattices, based on pure elastic Hamiltonians [13] or on models combining spin-lattice interactions [14,15,16] have shown that the volume change induced by the spin transition affects considerably the transition and can even change the nature of the phase transition. Since a simulation based on a model of systems interacting via long-range distant potential is usually very time consuming because the particles are allowed to move freely, we adopt here an alternative approach in which the SC solid is modeled as a network of nodes with the fixed topology of a 2D square lattice. Apart from moving the nodes stochastically, the Monte Carlo algorithm also changes the spin states at the nodes within the framework of a canonical ensemble. The present study is performed by using an anharmonic interatomic potential, that we used recently when we solved exactly a set of coupled bistable oscillators in the frame of the transfer integral method [17].

The paper is organized as follows: In Sec. II, we define the model and describe the simulation technique, in Sec. III we discuss our choice of interaction parameters and in sec IV we give a detailed discussion of the thermodynamical behavior of the high spin fraction, in switchable nanoparticles as a function of their size. Atomic deformations and macroscopic configurations of the system are also discussed in relation the existence or not of the first-order transition between the low-spin (*LS*) to the high-spin (*HS*) states. In Sec. V, we conclude.

II. The Model: theoretical background and choice of the parameters

We consider here a square lattice of spin-crossover units (see Fig. 1), in which each of them may have two states, HS and LS, described by an associated fictitious spin S , the values of which are given by $S = +1$ (*HS*) and -1 (*LS*). Hence, we studied systems of $N = L^2$ nodes, with $L = 6, 10, 18, 40$ and 60 . Initially these nodes were put onto the sites of an ideal square lattice with the lattice constant of a pure *HS* state. Through the simulation, we used open boundary conditions in order to take account of surface effect. We will come later to a discussion of this aspect.

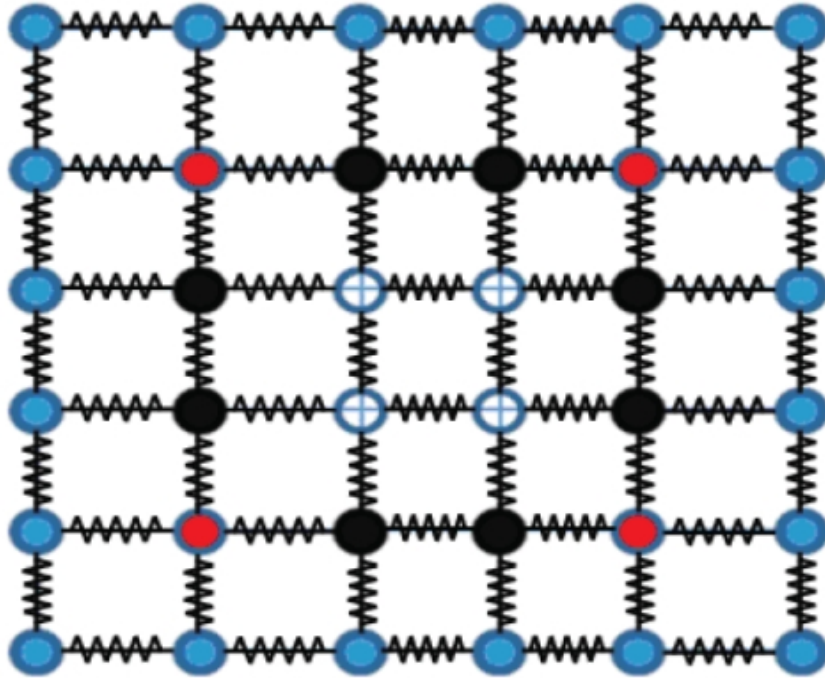


Figure 1: (Color online) the elastic 2-D lattice representing a SC nanoparticles.

The total Hamiltonian of the system accounting for electronic and elastic contributions writes,

$$H = \sum_i [\Delta - k_B T \ln(g)] S_i + \sum_{(i,j)} A_{ij} [r_{ij} - R_0(S_i, S_j)]^2 + \sum_{(i,k)} B_{ik} [r_{ik} - R'_0(S_i, S_k)]^2$$

and $S(i, N) = S(N, j) = S(i, 1) = S(1, j) = +1,$ 1

Where, the first term of the Hamiltonian (1) is the effective ligand field contribution in which Δ is the ligand-field energy arising from Nitrogen atoms and $-k_B T \ln g$ is the entropic contribution due to the electro-vibrational degeneracy, g , of the high spin state. The second and third terms account for elastic interactions, between nearest-neighbor (nn) and next-nearest-neighbors (nnn) spin-crossover units, respectively.

The nodes of the lattice of Fig. 1, are connected by springs. The elastic stiffness of the nn and the nnn bonds are written under the following form so as to decrease the total elastic constant in the HS spin state

$$A_{ij}(r_{ij}) = A_0 + A_1(r_{ij} - R_{HS}^0)^2 \quad \text{and} \quad B_{ik}(r_{ik}) = B_0 + B_1(r_{ik} - \sqrt{2}R_{HS}^0)^2$$
 2

where, A_0 (B_0) and A_1 (B_1) are respectively the harmonic and the anharmonic contributions to the elastic interaction energy between nn (nnn) neighbors.

The typical energy scale of the present model is in the meV range. Realistic transition temperatures are obtained with a ligand-field energy $\Delta=450\text{K}$ and the degeneracy ratio, $g=150$ which yields an electronic entropy change at the transition $\Delta S = Nk_B \ln g \approx 41 \text{ JK}^{-1} \cdot \text{Mol}^{-1}$, leading in the case of pure Ising-like model [18] to the transition temperature $T_{eq} = \Delta / k_B \ln g \approx 90\text{K}$. On the other hand, the equilibrium bond-lengths between Iron and ligands can be derived from X-rays data [19] as $R_0(-1,-1) \approx 1 \text{ nm}$ and $R_0(+1,+1) \approx 1,2 \text{ nm}$ and we set the average value of the lattice parameter between nnn neighboring HS (LS) atoms as simply given by $R_0(+1,+1)\sqrt{2} \approx 1,70 \text{ nm}$ $R_0(-1,-1)\sqrt{2} \approx (1,41 \text{ nm})$.

III. Results and discussion

The Hamiltonian (3) cannot be solved analytically and then we perform MC simulations to study its thermal properties (hysteresis, transition temperature, residual fraction etc.) for systems sizes $L = 6, 10, 18, 40$ and 60 . For simplicity reasons, our objective is to understand how the size impact, the “macroscopic” properties of the nanoparticles. In practice, the system is warmed up from $T = 5\text{K}$ to 200 K in steps of increment 1K , and then cooled down to the initial temperature 5K .

At each temperature, 100 MC steps are used to relax the spin configuration, and for each spin change, then $100 \cdot N$ the lattice positions to relax the lattice deformations. In addition, at each temperature, 100 MC steps on the spin configuration are discarded as transient time and the subsequent 100 MC steps were used to measure the following physical quantities,

$$\langle S \rangle = \frac{4(L-1) + \sum_{i=1}^{(L-2)^2} S_i}{L^2} \quad \text{and as} \quad n_{HS} = \frac{1 + \langle S \rangle}{2}, \quad (3)$$

where $\langle S \rangle$ is the average value of the spin and n_{HS} is the HS fraction, i.e. the fraction of SC molecules in the HS state.

In Figure 2 we show the thermal behavior of the HS fraction, $n_{HS}(T)$, calculated for various particle sizes. The experimental behaviors [30,31] are reproduced: upon decreasing particle size the transition temperature is downward shifted, the hysteresis loop progressively collapses and the low-temperature residual HS fraction is increased. In the following, we discuss the results of the model.

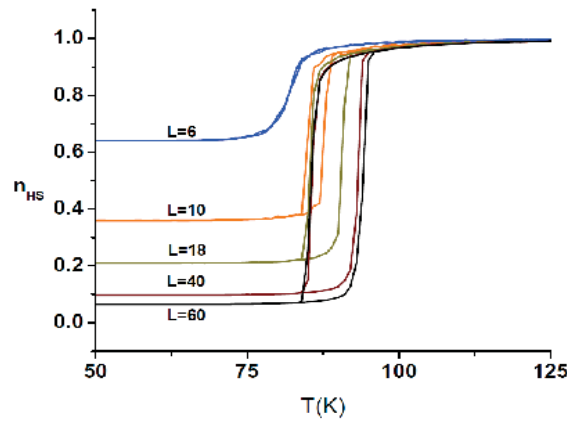


Figure 2: (Color online) Thermal dependence of the HS fraction for square-shaped nanoparticles of different sizes.

The size dependence of the hysteresis loop

The hysteresis loop appears above a threshold value (Figure 3). Obviously, this value depends on the MC kinetics used in the simulation. We reported in Fig. 4 the size dependence of the hysteresis width for two values (40 and 100 MCS) of MC kinetics. On increasing size, above the respective critical values ($L_c \approx 5nm$ and $L_c \approx 8nm$), the hysteresis width, ΔT_c , shows a monotonous increase with size until an asymptotic value of $\approx 12K$ obtained for large values of sizes, $\approx 100nm$ (for 40 MCS). This monotonic behavior contrasts with the non-monotonic with for the Ising-like model with fixed border. Indeed, in the former, the hysteresis width goes through a maximum when decreasing the size, a behavior which has been attributed to the HS surface which acts a non uniform negative pressure. Although this negative "pressure" exists in the present model, since the equilibrium temperature decreases with size, its amplitude is small ($X \approx 10K$) in comparison to that of the Ising model. However the present elastic model, while the interaction is exclusively of short-range in the case of Ising-like model

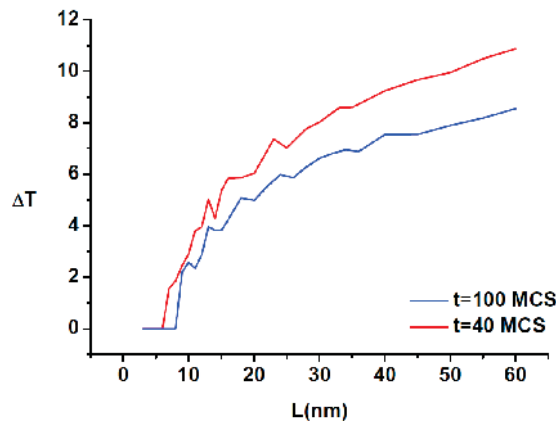


Figure 3 : (Color Online) size dependence of the thermal hysteresis width of the SC nanoparticle in the frame of the elastic model of Hamiltonian (3), showing the existence of a threshold size, L_0 , for the occurrence of the thermal bistability. Red (blue) curve for which $L_0 = 6$ ($L_0 = 9$) corresponds to a temperature sweep rate of 0.025 K/MCS (0.01K/MCS).

It is observed from Figure 3 that the hysteresis width shows a critical-like behavior for small sizes, which imposes a detailed study of the kinetic aspects involved in the observation of the hysteresis loop. Thus, we have calculated the size dependence of the hysteresis loop for different MC kinetics and evaluated for each case the threshold value of size, denoted by L_0 . Remarkably, we have found that the hysteresis width ΔT , follows

$$\text{the simple law } \Delta T(L, t_{MCS}) \propto (L - L_0(t_{MCS}))^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

as clearly evidenced in Fig. 4, where we have reported the logarithm of the hysteresis width as function of the logarithm of $L - L_0(t_{MCS})$ for several values of Monte Carlo kinetics. It is important to mention however that the universal behavior is found in Fig. 4, and expressed by Equ. (4), is valid only for small size nanoparticles. Indeed, at bigger sizes, the hysteresis width reaches the bulk value at which it saturates and thus Equ. (4) cannot be used to describe this region of size.

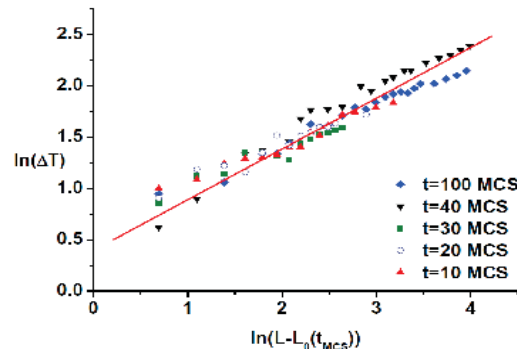


Figure 5:(Color online) Universal behavior of the hysteresis of SC nanoparticles with size. The data result from different MC kinetics, that is the MCS waiting time between two temperatures during the simulations. All curves match on the same linear plot with a slope value $\frac{1}{2}$. MCS The threshold value L_0 depends on the MC kinetics.

IV. Discussion and Conclusion:

We have investigated the thermal properties of SC nanocrystals mainly from the point of view of the size dependence of their hysteresis loop. It is well known that the width of the hysteresis is related to the observation time and to the ratio of the barrier height to the thermal energy, $k_B T$. We have not studied the dependence of the energy barrier with size, it is expected that the latter decreases with size, as recently published on circular lattices [12]. However, in the present study its determination requires the time dependence of the HS fraction at different temperatures and, hence, its derivation from an Arrhenius plot. Simple arguments lead however to expect that the true experimental situation is much more complicated. The present model allows such extension, through the double distribution of a random elastic constants and random ligand fields for the surface atoms. We are presently investigating these effects, which will be presented elsewhere.

References

- [1] E.König, Struct. Bonding, 76, 51 (1991).
- [2] P. Gülich, Struct. Bonding, 44, 83 (1981).
- [3] S. Decurtins, P. Gülich, C. P. Köhler, H. Speiring, A. Hauser, Chem. Phys. Lett, 139,1 (1984).
- [4] H. Toftlund, Coord. Chem. Rev, 94, 67 (1989).
- [5] C. P. Köhler, R. Jakobi, E. Meissner, L. Wiehl, H. Speiring, P. Gülich, J. Phys. Chem. Solids, 51, 239 (1990).
- [6] O. Kahn, Molecular Magnetism. VCH, New York, (1993).
- [7] J. Zarembowitch, O. Kahn, New. J. Chem, 15, 181 (1991).
- [8] O. Kahn, J. Kröber, and C. Jay, Adv. Mater, 4, 718 (1992).
- [9] O. Kahn, C. Jay-Martinez, Science, 279, 44 (1998).
- [10] O. Kahn, Opin. Curr. Solid State Mater. Sci, 1, 547 (1996).
- [11] R. Jacobi, H. Spiering, P. Gülich, J. Phys. Chem. Solids, 53, 267 (1992).
- [12] K. Boukheddaden, J. Linares, E. Codjovi, F. Varret, V. Niel, J. A. Real, J. Appl. Phys,
- [13] M. Nishino, C. Enachescu, S. Miyashita, P.A. Rikvold, K. Boukheddaden, and F. Varret, Scientific Reports, 1, 162 (2011).
- [14] W. Nicolazzi, S. Pillet and C. Lecomte, Phys. Rev. B, 80, 132102 (2009).
- [15] L. Stoleriu, P. Chakraborty, A. Hauser, A. Stancu, and C. Enachescu, Phys. Rev. B, 84,134102 (2011).
- [16] A. Slimani and K. Boukheddaden (in preparation)
- [17] K. Boukheddaden, M. Nishino, S. Miyashita, Phys. Rev. Lett. B, 75, 094112 (2007).
- [18] W.C. Yu and P. Gielsse, Mater. Res. Bull, 6, 621 (1971).
- [19] A. L. Edwards and H.G. Drickamer, Phys. Rev, 122, 1149 (1961).

Raman spectra of ZnO thin films deposited on silicon substrate

A. Hammouda^{1,2}, A. Boughalout^{1,2}, M. Kechouane², A. Canizarès³, P. Simon³

¹ Centre de Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle, BP 64, Route de Dély Ibrahim, Chéraga, Algiers, Algeria.

² Equipe Couches Minces, Laboratoire de Physique des Matériaux, Faculté de Physique, USTHB, Algiers, Algeria.

³ CNRS UPR3079 CEMHTI - 1D Avenue de la Recherche Scientifique - 45071 Orléans Cedex 2 – France.

Abstract

Monocrystalline silicon wafers are frequently used as substrates for thin film deposition, and when working on thin films materials such as ZnO, it is difficult to extract the Raman information relevant to the film from the silicon signal.

In this paper, we show that using a 457 nm wavelength of the laser excitation combined with the effect of silicon Raman selection rules through convenient orientation of the silicon substrate, the 520 cm⁻¹ Si signal can be sufficiently attenuated to give access to the ZnO Raman information, whatever the important difference of intensity between them.

1. Introduction

Transparent conducting oxide (TCO) thin films exhibit high optical transmission and good electrical conductivity and have practical applications for transparent electrodes in photo-electronic devices such as solar cells and flat panel displays [1]. Among these TCO, ZnO thin films take a noticeable place. According to some authors, high optical quality ZnO thin films deposited on silicon are difficult to obtain [2]. Tzolov et al [3, 4] have reported successful deposits on silicon, as well as on Aluminum and vitreous silica. Nevertheless, monocrystalline silicon is one of the most popular substrates for such films as well adapted to their applications. Characterizing TCO thin films by Raman micro-spectrometry is very interesting and will permit to improve optical properties of these devices for photovoltaic applications.

The Raman spectrum of TCO thin films and especially ZnO, when deposited on crystalline silicon substrates, are dominated by the 1st and 2nd order spectra of silicon [5-7], as their Raman scattering cross-section is much lower than the silicon one. Very important thicknesses (some micrometers) would be necessary to spatially separate film and substrate signals by confocal micro-spectrometry. The usual thicknesses (of the order of 100 nm) of TCO deposited films even lead to the impossibility to access to their Raman spectra [8]. The highest intensity Raman peak of Si is the 520 cm⁻¹ one, and is some orders of magnitude stronger than ZnO films signal. Other difficulty lies in the fact that the 433 cm⁻¹ second order shoulder of Si very close to the E₂(high-frequency) mode of ZnO located at 437 cm⁻¹ [9, 10].

Our interest is then to focus on these difficulties in order to characterize ZnO thin films when deposited on silicon substrates.

In this paper, we present an approach based on an appropriate orientation of the sample through silicon Raman selection rules. As ZnO films are polycrystalline ones, without any preferential orientation, one can then decrease the Si Raman intensity versus ZnO one.

2. Experimental

ZnO thin films were deposited on crystalline silicon (001) by DC reactive sputtering in a home-made planar sputtering system.

Raman spectra were obtained in backscattering geometry with a Renishaw Invia Reflex Raman spectrometer equipped with a DM 2500 Leica microscope (100×objective), grating 2400 grooves/mm, edge filter and a Modulaser argon-ion laser (excitation wavelengths 514 - 488 - 457 nm). The smaller penetration depth in Si at 457 nm compared to 514 nm limits the scattering volume and then the Raman intensity due to Si. Laser power on the sample was about 5 mW. The power was increased from very low powers up to these values in order to check the absence of heating or even burning of the films. Spectra were collected at different points on the films to check homogeneity.

The Invia Reflex spectrometer is configured for polarized Raman measurements, VV—in parallel polarization of incident and scattered light, on confocal mode. A device with a half-wave plate and a polarizer is positioned on the scattered beam. With it it is possible to choose the polarization, and to orientate it along the most favorable direction of the grating.

As the ZnO thin film is polycrystalline, the better conditions to access ZnO information are VV polarization configuration. So orientating the Si wafer in such a way that polarization of both excitation and scattering be along [100] axis will lead to vanish contribution of the T_{2g} mode. Then the ZnO film on substrate is carefully rotated under the microscope, up to extinguish the Si 520 cm⁻¹ mode, or at least reach its minimum intensity. In these conditions the Raman spectra are obtained for 300 s of exposure time. All measurements are performed in confocal mode in order to increase the selectivity on the film.

3. Results and discussion

Fig. 1 displays the effect of the Si orientation procedure described in the previous section. One sees the spectrum obtained in VV configuration oriented along [110] axis. It shows only the T_{2g} 520 cm^{-1} mode of Si. The second spectrum is recorded in VV polarization, electric field oriented along [100] Si fourfold axes. One sees that the relative intensity of the 520 cm^{-1} mode is strongly decreased by the Si first order selection rules, by a factor of about 95%, whereas the higher-order spectrum is practically unchanged[10].

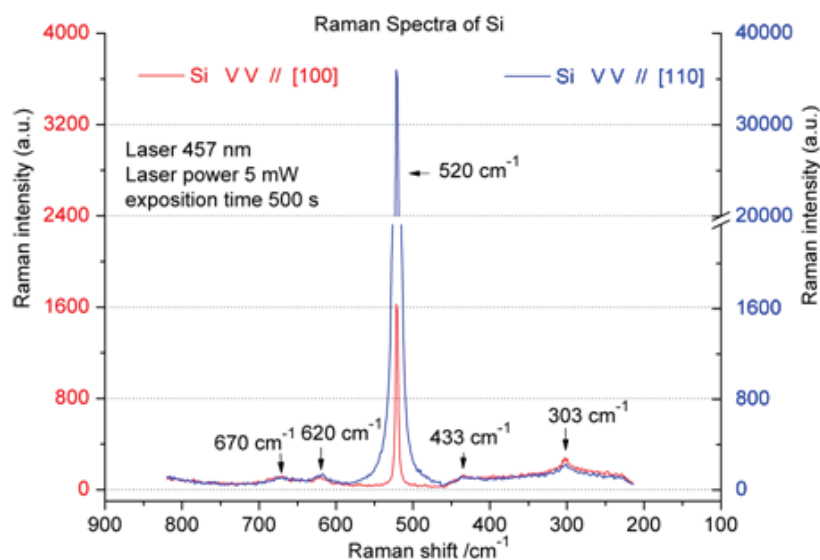


Fig. 1. Raman spectra of oriented silicon single crystal Si(001) on polarization configuration VV, polarization along [100] (red, left Y-scale), and along [110] (blue, right Y-scale).

Similarly, Fig. 2 displays the effect of the Si orientation procedure described in the previous section for ZnO thin film deposited on silicon. On a ZnO/Si sample, one sees the spectrum obtained without polarization conditions. It shows only the T_{2g} 520 cm^{-1} mode of Si. The second spectrum is recorded in VV polarization, electric field oriented along Si fourfold axes. As shown in Fig. 1, the relative intensity of the 520 cm^{-1} mode is strongly decreased (around 95%) by the Si selection rules. Even if this mode is not totally suppressed, the ZnO signatures are now observable, of the same intensity than the second order and the density-of-states (DOS) contribution of silicon (which are not decreased by the selection rules).

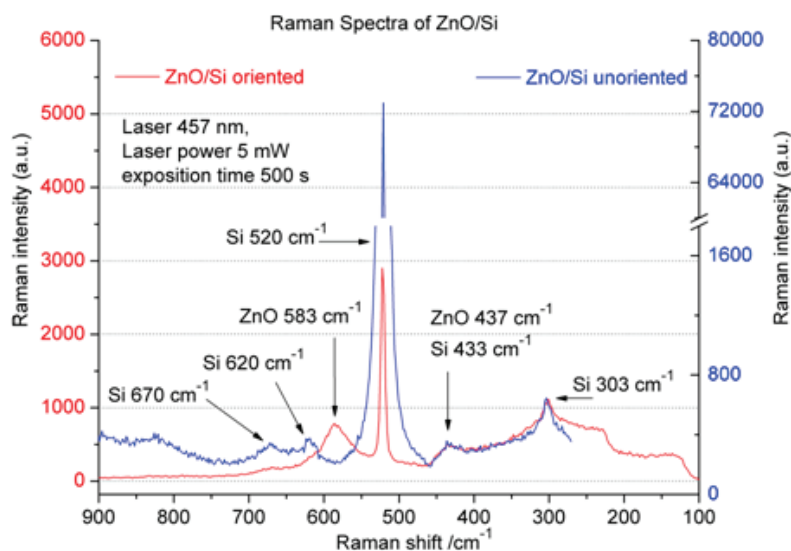


Fig. 2. Raman spectra of ZnO thin film deposited on oriented Silicon substrate (001). VV polarization configuration along Si[100] (red, left Y-scale), VV polarization configuration on an unoriented Si substrate (blue, right Y-scale).

The 583 cm^{-1} mode corresponding to $E_1(\text{LO})$ of wurtzite structure of ZnO [11] is clearly observed, the mode E_2 at 437 cm^{-1} is nevertheless partially masked by the silicon shoulder at 433 cm^{-1} [5, 11].

For a better identification of ZnO modes, Fig. 3 displays the Raman spectrum of ZnO powder. Six Raman modes are symmetry-allowed ($A_1(\text{TO})$ - 381 cm^{-1} , $A_1(\text{LO})$ - 574 cm^{-1} , $E_1(\text{TO})$ - 407 cm^{-1} , $E_1(\text{LO})$ - 583 cm^{-1} , $2E_2(101\text{ cm}^{-1}, 437\text{ cm}^{-1})$) [12, 13] but five modes are observable, the mode at 101 cm^{-1} corresponding to $E_2(\text{low})$ is hidden by the Rayleigh edge filter cutoff of the Invia Raman spectrometer operating until 100 cm^{-1} (Fig. 2).

The main difference with the film of Fig. 2 is the enhanced intensity of the 583 cm^{-1} component in the film. This was already reported as a strong dependence of the vibration properties of the films to oxygen pressure. The $E_1(\text{LO})$ mode of ZnO is known to have a high intensity compared to the other modes, due to oxygen vacancies, upon elaboration at low oxygen pressure [14, 15].

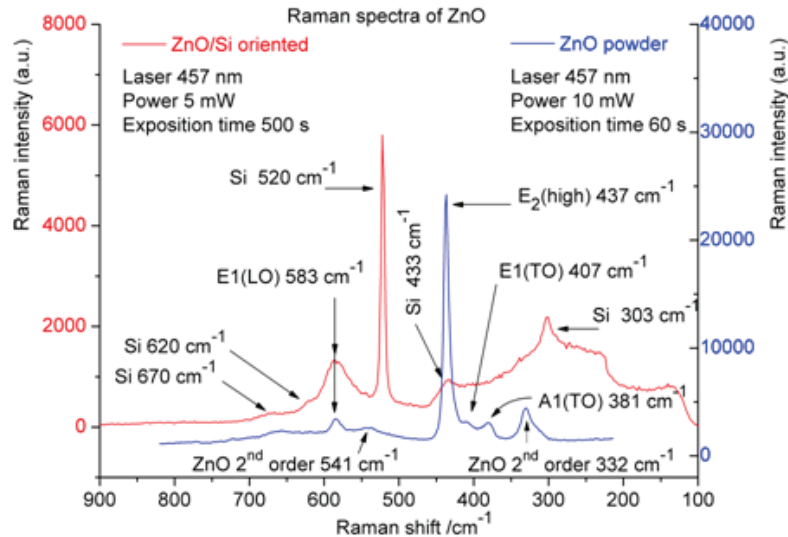


Fig. 3. Raman spectra of ZnO/Si(001), VV polarization configuration along Si[100] (red, left Y-scale), and ZnO powder, VV polarization configuration.

A Raman spectrum obtained by orientation of ZnO thin film deposited on oriented silicon is normalized and compared with a pure Si wafer, oriented identically (Fig. 4). We can clearly distinguish the ZnO mode at 583 cm^{-1} . The mode at 437 cm^{-1} is close to the shoulder (2LA, Brillouin zone-corner) of silicon at 433 cm^{-1} , but nevertheless, the shape is clearly different. The Brillouin zone-corner shoulder cannot give a peak but only a shoulder, as it correspond to vibration states only below the LA frequency. The peak shape in the ZnO spectrum is then clearly related to the ZnO film. ZnO mode on Si at 433 cm^{-1} look then more presumably due to the Si substrate, as shown in Si alone [5]. Only this comparison with pure substrate and substrate with films, in conditions limiting the intensity of the Si 520 cm^{-1} band, allows the separation between Si 433 cm^{-1} and ZnO 437 cm^{-1} components.

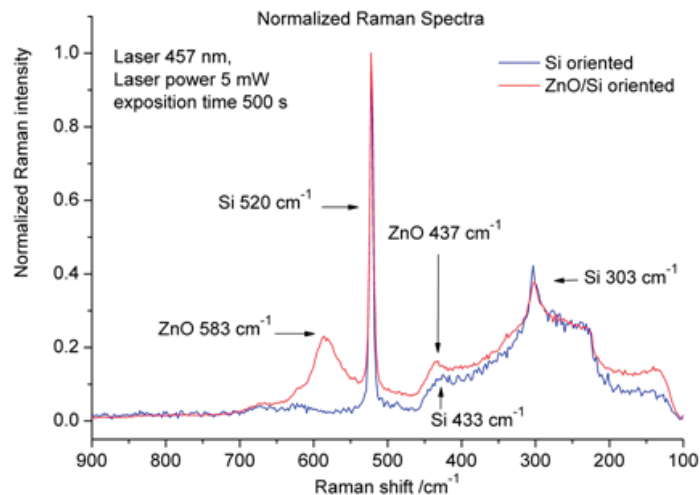


Fig. 4. Normalized Raman spectra of ZnO/Si(001) and Si(001). Both are in VV polarization configuration, polarization along Si[100] axis.

In the other hand, one can compare the obtained spectrum to a normalized spectrum of ZnO powder. As shown in (Fig. 4), the ZnO mode at 583 cm^{-1} can clearly be distinguished.

4. Conclusion

ZnO thin films with a thickness between 40 to 500 nm were deposited by DC reactive sputtering technique onto an (001) oriented silicon substrates. Raman spectra of ZnO are very weak due to this small thickness and the huge intensity of Si substrate. The ZnO spectra was obtained after using the following conditions in order to strongly attenuate the silicon mode and increase the Raman signal.

- The use of the lower laser wavelength (457 nm) of a classical Raman device permits to reduce the penetration depth in silicon, especially interesting for thin film deposited on Si.

- An adequate orientation of the sample in polarized Raman spectra, VV— in parallel polarization of incident and scattered light, along the fourfold axes of Si, attenuates very strongly the silicon 520 cm^{-1} mode through the Raman selection rules.

- Provided this orientation, exposure times of the laser excitation can be increased to give a better signal-to-noise ratio in the spectra without saturating the CCD camera.

This approach is complementary to what can be obtained on less-frequent UV Raman systems and may open prospects for the application of polarized Raman spectroscopy as a characterization tool for surface materials.

About ZnO films, the wurtzite structure of ZnO have been observed by Raman spectroscopy by the identification of the mode E_1 (LO) located at 583 cm^{-1} , with oxygen-deficient signatures.

References

- [1] K. Iwata, T. Sakemi, A. Yamada, P. Fons, K. Awai, T. Yamamoto, S. Shirakata, K. Matsubara, H. Tampo, K. Sakurai, S. Ishizuka, and S. Niki, "Improvement of ZnO TCO film growth for photovoltaic devices by reactive plasma deposition (RPD)," *Thin Solid Films*, vol. 480, pp. 199-203, Jun 2005.
- [2] O. Lupan, T. Pauporte, V. V. Ursaki, and I. M. Tiginyanu, "Highly luminescent columnar ZnO films grown directly on n-Si and p-Si substrates by low-temperature electrochemical deposition," *Optical Materials*, vol. 33, pp. 914-919, Apr 2011.
- [3] M. Tzolov, N. Tzenov, D. Dimova-Malinovska, M. Kalitzova, C. Pizzuto, G. Vitali, G. Zollo, and I. Ivanov, "Vibrational properties and structure of undoped and Al-doped ZnO films deposited by RF magnetron sputtering," *Thin Solid Films*, vol. 379, pp. 28-36, Dec 8 2000.
- [4] M. Tzolov, N. Tzenov, D. Dimova-Malinovska, M. Kalitzova, C. Pizzuto, G. Vitali, G. Zollo, and I. Ivanov, "Modification of the structure of ZnO : Al films by control of the plasma parameters," *Thin Solid Films*, vol. 396, pp. 274-279, Sep 21 2001.
- [5] A. Zwick and R. Carles, "Multiple-order Raman-scattering in crystalline and amorphous-silicon," *Physical Review B*, vol. 48, pp. 6024-6032, Sep 1993.
- [6] J. P. Blondeau, L. Allam, V. Fleury, P. Simon, and I. Gregora, "Preparation of silicon nanoaggregates by thermal activated reaction," *Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology*, vol. 100, pp. 27-34, Jun 2003.
- [7] J. P. Blondeau, C. Andreazza, P. Simon, F. Catan, and L. Allam, "Comparison of silicon nanocrystals size determination by Raman scattering and transmission electron microscopy measurements," *Optical Materials*, vol. 29, pp. 279-286, Nov 2006.
- [8] M. Gabas, P. Diaz-Carrasco, F. Agullo-Rueda, P. Herrero, A. R. Landa-Canovas, and J. R. Ramos-Barrado, "High quality ZnO and Ga:ZnO thin films grown onto crystalline Si (100) by RF magnetron sputtering," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 95, pp. 2327-2334, Aug 2011.
- [9] V. Gupta, P. Bhattacharya, Y. I. Yuzuk, K. Sreenivas, and R. S. Katiyar, "Optical phonon modes in ZnO nanorods on Si prepared by pulsed laser deposition," *Journal of Crystal Growth*, vol. 287, pp. 39-43, 2006.
- [10] A. Hammouda, A. Canizares, P. Simon, A. Boughalout, and M. Kechouane, "Improving the sensitivity of Raman signal of ZnO thin films deposited on silicon substrate," *Vibrational Spectroscopy*, vol. 62, pp. 217-221, Sep 2012.
- [11] J. M. Calleja and M. Cardona, "Resonant Raman-scattering in ZnO," *Physical Review B*, vol. 16, pp. 3753-3761, 1977.
- [12] T. C. Damen, S. P. S. Porto, and B. Tell, "Raman Effect in Zinc Oxide," *Physical Review*, vol. 142, pp. 570-574, 1966.
- [13] S. P. S. Porto, P. A. Fleury, and T. C. Damen, "Raman spectra of TiO_2 , MgF_2 , ZnF_2 , FeF_2 , and MnF_2 ," *Physical Review*, vol. 154, pp. 522-526, 1967.
- [14] J. N. Zeng, J. K. Low, Z. M. Ren, T. Liew, and Y. F. Lu, "Effect of deposition conditions on optical and electrical properties of ZnO films prepared by pulsed laser deposition," *6th International Conferenc on Laser Ablation*, vol. 197, pp. 362-367, Oct 01-05 2001.
- [15] Z. G. Zhang, F. Zhou, X. Q. Wei, M. Liu, G. Sun, C. S. Chen, C. S. Xue, H. Z. Zhuang, and B. Y. Man, "Effects of oxygen pressures on pulsed laser deposition of ZnO films," *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, vol. 39, pp. 253-257, Sep 2007.

ZOOM

sur un Projet

Evaluation des matériaux par les méthodes Non Destructives Magnétiques et Electromagnétiques

Chef d'équipe : ZERGOUG Mourad

Membre de l'équipe : AMIR Mounir, Attaché de Recherche,
BOUDJERDA Mounir, Attaché de Recherche,
ZIOUCHE Aicha, Attachée de Recherche,
ALOUACHE Abdenour, Ingénieur,
AZZI Sihem, Ingénieur,
ZOUAOUA Slimane, Ingénieur.

Description du projet

Ce projet de recherche vise plusieurs objectifs dans différents domaines, tels que : l'utilisation des courants de Foucault, du bruit de Barkhausen, microonde, etc. Le développement de nouvelles techniques magnéto-optiques et thermographiques dans la détermination de la microstructure et la détermination des contraintes des matériaux subissant des sollicitations, pourrait remplacer les méthodes destructives trop coûteuses. Le traitement des résultats est très important pour l'évaluation des matériaux. Le lien entre les résultats de CND et les autres techniques qui confirmeraient nos résultats est très délicat. Pour cela, le développement d'outils de traitement est important et nécessite des études qui sont en cours de réalisation. Plusieurs approches de traitement seront considérées et développées suivant les cas traités (analyse, utilisation et développement d'algorithmes de traitement de modèle utilisé dans le CND magnétique, etc).

Intérêts du projet

- Intérêts technologiques :

- ▶ Développement de nouvelles techniques pour le CND par des procédés électromagnétiques,
- ▶ Amélioration des techniques actuelles par couplage de ces dernières pour avoir des résultats plus performants,
- ▶ Développement des outils et des modèles numériques qui aident à la décision et qui pourraient aider dans le contrôle en temps réel.

- Intérêts Economiques :

- ▶ Ces techniques permettent de réduire le coût des inspections du CND,
- ▶ Elles pourraient remplacer le contrôle destructif et permettre l'Inspection In Service.

Résumé

Dans la majorité des cas, l'évolution des propriétés des matériaux est fonction du temps et de l'environnement dans lequel ces derniers sont placés. L'évolution mécanique ou physique s'accompagne d'un vieillissement, il est donc important d'accroître au maximum la durée de vie du matériel et d'éviter les arrêts imprévus susceptibles d'entraîner des manques. Les méthodes magnétiques présentent d'énormes potentialités dans différents secteurs (aéronautique, automobile, industries mécaniques, etc).

En plus de la détermination des défauts, notre autre objectif est qui est de loin le plus important est d'une part, la caractérisation et l'évaluation des matériaux par ces techniques dans le sens mécanique et métallurgique (l'évaluation des matériaux, les contraintes, etc) et, d'autre part, l'utilisation des techniques dites classiques comme les courants de Foucault, le bruit de Barkhausen dans la détermination de la microstructure et la détermination des contraintes des matériaux subissant des sollicitations. Nous nous intéresserons aussi à analyser par les méthodes de CND Magnétiques des contraintes appliquées dans un matériau en particulier dans le cas des contraintes à chaud. Une étude sur les contraintes à chaud, à froid soumise à des fatigues serait effectuée. Des optimisations des cycles d'hystérésis par les algorithmes évolutifs, tels les réseaux de neurones, algorithme génétique et Practical Swarm optimization permettent l'évaluation non destructif des matériaux à une échelle micro-métrique, nanométrique. Le problème de défaut sera traité dans ce projet par l'exploitation de tous les outils et techniques électromagnétiques et magnétiques qui pourraient le caractériser avec plus de précision.

Nous allons maîtriser et optimiser de nouvelles techniques de CND, par exemple les microondes et la thermographie et coupler les techniques de CND telles que la technique magnéto-optique. Cette dernière sera appliquée particulièrement au contrôle des revêtements, aux contraintes, etc.

ZOOM

sur un Projet



Résultats obtenus

Les méthodes magnétiques de CND sont utilisées pour résoudre des problèmes très complexes dans les matériaux, tels que la détection des dommages occasionnés en service comme les criques de fatigue. Une étude par courant de Foucault, bruit de Barkhausen et cycle d'hystérésis et d'autres techniques magnétiques qui sont des techniques de contrôle non destructif très utilisées dans les domaines industriels (l'aéronautique, l'industrie, le nucléaire, etc.), a été effectuée dans la caractérisation des matériaux soumis à des conditions particulières :

- Etude des contraintes subit par la traction uni axiale par les méthodes des CF,
- Etude des contraintes résiduelles par les méthodes non destructives,
- Application des courants de Foucault pulsé 'CFP' dans la détermination des défauts en multicouches,
- Applications des méthodes de CND pour la caractérisation nano structurale,
- Application de modèle Preisach et détermination de solution par des algorithmes dans la quantification du cycle d'hystérésis dans le CND magnétique,
- Application des courants de Foucault pulsé dans la caractérisation des matériaux,
- Relation entre les méthodes de CND Magnétiques et les contraintes appliquées dans un matériau,
- Comportement corrosif des matériaux traités thermiquement par CND,
- Optimisation des cycles d'hystérésis par le modèle Preisach et Jiles Athetoon, par les algorithmes génétiques, par les réseaux de neurones avec des applications de CND ,
- Relation entre les méthodes de CND Magnétiques et les contraintes appliquées dans un matériau, application dans le cas des matériaux soumis à des contraintes à chaud,
- Analyse des corrosions dans les matériaux par les méthodes de CND.



Publications 2013

- 1- MOKHTARI and M. OULD OUALI, Experimental and Numerical Study of Polypropylene Composite Reinforced with Jute Fibers. Design and Modeling of Mechanical Systems. LNME, pp.509-516, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
- 2- R. BADJI, T. CHAUVEAU, B. BACROIX, Texture, misorientation and mechanical anisotropy in a deformed dual phase stainless steel weld joint, *Materials Science and Engineering A* 575 (2013) 94-103
- 3- A. BADIDI BOUDA, W. DJERIR, H. BELKHELFA & R. HALIMI, Nondestructive evaluation of carbon content in steel, *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2013 .
- 4- HALIMI Rafik, BEZZAZI Boudjema, BADIDIBOUDA Ali, SATOUR Abida, ARIBI Choib, Inspection of laminated composite materials by two different ultrasonic techniques, *Journal of Materials, Processes and Environment* N°ISSN 2335-1020 (2013) pp. in press
- 5- A. SATOUR, F. BOUBENIDER, R. HALIMI, A. BADIDIBOUDA, Guided Wave Sensitivity for De-Bond Defects in Aluminum Skin-Honeycomb Core World, *International Journal of Physical Sciences* Vol: 7 No:9, Academy of Science, Engineering and Technology, 2013
- 6- Sonia DJILI, Farouk BENMEDDOUR, Emmanuel MOULIN, Jamal ASSAAD, Fouad BOUBENIDER Notch detection in copper tubes immersed in water by leaky compressional guided waves, LNME, pp.509-516, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
- 7- Farouk BENMEDDOUR Emmanuel MOULIN, Jamal ASSAAD, Sonia DJILI, Generation of a selected Lamb mode by piezoceramic transducers: application to nondestructive testing of aeronautical structures, *Piezoelectric Materials and Devices-Practice and Applications*", ISBN 980-953-307-717-3, 2013.
- 8- H. RAGUEB, K. MANSOURI, A numerical study of viscous dissipation effect on non Newtonian fluid flow inside elliptical duct, *Energy Conversion and Management*, Vol 68, pp124-132 (2013).
- 9- A. BADIDI BOUDA, W. DJERIR , H. BELKHELFA & R. HALIMI, Nondestructive evaluation of carbon content in steel, *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*.
- 10- H. HAMITOUCHE, A. KHELIFA, A. KOUACHE, S. MOULAY, Study of the inhibiting effect of a quaternary ammonium surfactants mixture synthesized from petroleum fraction (reformate) against the carbon steel corrosion in HCl 1 M, *Research on Chemical Intermediates*, 2013. DOI 10.1007/s11164-013-1133-0.
- 11- H. HAMITOUCHE, A. KHELIFA, A. KOUACHE, S. MOULAY, Petroleum quaternary ammonium surfactants mixture synthesized from Light naphtha as corrosion inhibitors for carbon steel in HCl 1M, *Corrosion Reviews*, 2013; 31(2): 61–72.
- 12- H. SEDRATI, R. BENSABAHA, M. BRAHIMI, H. DEHDOUH, H. BENSOUYAD, F. ABBAS, B. TOUBAL, Correlation between structural and optical properties of SiO₂/TiO₂ multibilayers processed by sol-gel technique and applied to Bragg reflectors, *Materials Science (An Indian Journal)* MSAIJ, 9(3), (2013) 113-118.
- 13- F. VALENSI, S. PELLERIN, Q. CASTILLON, A. BOUTAGHANE, K. DZIERZEGA, S. ZIELINSKA, N. PELLERIN AND F. BRIAND, Study of the spray to globular transition in gas metal arc welding, a spectroscopic investigation, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 46 (2013) 224005 (12pp).
- 14- FAIROUZ BETTAYEB, Wavelet noise function and regression analysis for ndt material characterization, testing and diagnostics, in Book: recent advances in integrity-reliability and failure, 06/2013:91, INEGI Publisher, ISBN: 978-972-8826-27-7.
- 15- SB. GOUMEIDANE, N. NACEREDDINE , M. KHAMADJA, Local and Global Statistics-Based Explicit Active Contour for Weld Defect Extraction in Radiographic Inspection, *Lecture Notes on computer science* 8048 Part II (2013).
- 16- M. HALIMI AND N. RAMOU, Extraction of weld defects dimension from radiographic images using the level set segmentation without re-initialization, Vol. 49, No. 7, pp. 424–429, 2013,
- 16- H. OUBOUCHOU, A. SLIMANI, G. ZRIBI, N. HAINE, M. ZERGOUG, AND K. BOUKHEDDADEN, Thermal hysteresis behavior of spin crossover nanoparticles from a deformable lattice model Monte Carlo investigations, *Sensor letters*. Vol 11, 1-8. 2013
- 17- A. BOUKEZZATA, A. KEFFOUS, G. NEZZAL, N. GABOUZE, M. KECHOUANE, K. ZAAFANE, A. HAMMOUDA, P. SIMON, AND H. MENARI, Investigation properties of Au–Porous a-Si_{0.60}C_{0.40} as Humidity sensor, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 176, pp. 1183–1190, 2013.
- 18- AHMED HADDAD, MOHAMMED AZZAZ, Eddy Current characterization of (Fe₆₅Co₃₅) XAl_{1-X} nanocrystalline alloy synthesized by mechanical alloying process, *Key Engineering Materials* 550 April 2013, pp. 71-78 ISSN print: 1013-9826.
- 19- ABDELOUAHAB ZAATRI AND BILLEL BOUCHEMAL, Task Performance Evaluation for Supervisory Control Systems, *AME Advances in Mechanical Engineering* Volume 3, Number 1, March, 2013.
- 20- NEZZARI. H, CHAREF. A ET BOUCHERMA. D, Analog Circuit Implementation of Fractional Order Damped Sine and Cosine Functions, *IEEE journal on emerging and selected topics in circuits and systems*, vol. 3, N°. 3, 2013, pp: 386-393.
- 21- KHALED BOUBENDIRA, HOCINE MERADJI, SEBTI GHEMID , FOUAD EL HAJ HASSAN, Theoretical prediction of the structural, electronic, and thermal properties of Al_{1-x}B_xAs ternary alloys, LNME, pp.509-516, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
- 22- ADEL TAABOUCHE, ABDERRAHMANE BOUABELLOU, FOUAD KERMICHE, FAOUZI HANINI, SARAH MENAKH, YACINE BOUACHIBA, TAHAR KERDJA, CHAWKI BENAZZOUZ, MOHAMED BOUAFIA AND SAAD AMARA, Effect of Substrates on the Properties of ZnO Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition, *Advances in Materials Physics and Chemistry*, vol 3 (2013) pp 209-213.
- 23- FOUAD KERMICHE, ADEL TAABOUCHE, FAOUZI HANINI, SARAH MENAKH, ABDERRAHMANE BOUABELLOU, YACINE BOUACHIBA, TAHAR KERDJA, CHAWKI BENAZZOUZ, CHAWKI BENAZZOUZ, MOHAMED BOUAFIA AND SAAD AMARA, Properties of Al-doped ZnO thin films grown by pulsed laser deposition on Si(100) substrates, *Int. J. Nanoparticles* vol 6 (2013) pp 93 - 102.
- 24- F. HANINI, Y. BOUACHIBA, F. KERMICHE, A. TAABOUCHE, A. BOUABELLOU, T. KERDJA AND K. BOUKHEDDADEN, Characteristics of Al-doped TiO₂ thin films grown by pulsed laser deposition, *Int. J. Nanoparticles*, vol 6 (2013) pp 132-142.



Une équipe au service de la science

RECRUTEMENTS

Dans le cadre de l'élargissement et du renforcement de ses équipes de recherche, le CSC et ses unités de recherche d'An-naba et Sétif ont recruté vingt-sept (27) ingénieurs d'états de soutien à la recherche ayant un diplôme d'ingénieur ou Master dans les spécialités suivantes:

- Informatique
- Chimie
- Génie mécanique ou électromécanique
- Métallurgie
- Electrotechnique
- Electronique
- Physique
- Aéronautique
- Génie industriel

2014

Janvier 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Février 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	

Mars 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Avril 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Mai 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Juin 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

Juillet 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Août 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Septembre 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

Octobre 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Novembre 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

Décembre 2014

Dim	Lun	Mar	Mer	jeu	Ven	Sam
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Jour de l'an : Mer 01 janvier Fête des travailleurs : Jeu 01 mai Fête de l'indépendance : Sam 05 juillet Anniversaire de la révolution : Sam 01 novembre

Maoulid ennabaoui : Mar 14 Janvier Aïd el fitr : Mar 29 Juillet Aïd Al adha : Dim 5 octobre Moharram : Dim 26 Octobre Achoura : Lun 3 Novembre