

Elaboration et caractérisation numérique des matériaux auxétiques à coefficient de poisson négatif.

Moncef CHERIEF^{1*}, Ismail DAOUD¹, Sidali KAOUA¹, Nouredine BOUZEGZI¹,
Amine REZZOUGE¹.

¹Département De Sciences Des Matériaux

Laboratoire de Sciences et Génie des Matériaux, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés
–USTHB

BP32 – 16111 El Alia, Bab Ezzouar Alger Algérie.

*auteur correspondant: mencef1986@gmail.com

Résumé : Les matériaux Auxétiques sont des milieux solides caractérisés par un coefficient de poisson négatif [1-2]. Ceci se traduit par un comportement mécanique très rarement formulé, qui ne peut être observé dans un milieu solide plein et continu [3-4]. L'objet de cette étude est constitué de deux volets principaux, à savoir; la modélisation géométrique et la modélisation mécanique d'un matériau Auxétique. Sur la base des résultats obtenus, on a pu comprendre et analyser le comportement des matériaux Auxétiques sous l'effet d'un test de traction, ceci par une simulation numérique adéquate qui prend en charge d'abord la conception assisté par ordinateur où la structure d'un milieu Auxétique a été conçue virtuellement puis introduite dans un environnement physique qui utilise la méthode des éléments finis dans le domaine élastique linéaire. L'effet des paramètres géométriques à savoir la hauteur des parois et l'angle d'orientation θ sur le coefficient de poisson ont été étudié.

Mots Clés : matériaux Auxétiques, coefficient de poisson négatif.

1. Introduction

L'histoire des matériaux Auxétiques a vue naissance durant les années 40 du vingtième et un nième siècle avec un livre publié qui décrit d'une façon sélective ces milieux ayant un coefficient de Poisson négatif [2]. En plus de l'indication, faite par L'auteur de cet ouvrage, sur l'existence de ces matériaux qui pouvaient dépassées les centaines d'année, celui-ci à mis l'accent sur l'importance de l'implication de ces matériaux dans le développement des domaines technologiques et théoriques en général et en particulier la recherche des sciences de matériaux.

Le terme « Auxétique » est dérivé du mot « Auxetikos », ce qui signifie « tend à augmenter ». Cette terminologie a été introduite en premier lieu par Evans et al [5], quand ils ont fabriqué le premier matériau en polyéthylène ayant un coefficient de Poisson négatif [6-7]. Ces travaux ont été les premiers a donné une impulsion modeste pour la découverte du comportement des milieux à coefficient de Poisson négatif et l'attribution de l'appellation d'Auxétisme à leurs comportement dans les temps modernes.

Ce n'est qu'après une trentaine d'années, une contribution concrète à l'élaboration des matériaux Auxétiques a eu le jour par Gibson [6,8]. En effet, en 1982, l'équipe de recherche dirigé par l'auteur de cet article à pu réaliser un matériau Auxétique en caoutchouc, ayant une forme géométrique spécifique qui encourage l'effet d'Auxétisme bidirectionnel, causé par la déformation par flexion de ses nervures. D'autres essais d'élaboration ont été abordés avec d'autre matière, notamment en aluminium.

Un autre pas, qui à marqué le développement du concept d'Auxétisme, est celui des travaux publiés dans la revue Science en 1987 par Lacs (3) et Gibson [9,10]. Ces chercheurs ont contribués d'une façon très appréciable dans l'élaboration schématique des milieux

matériels pouvant avoir un comportement d'Auxétisme. Plusieurs planches de représentation cellulaire à géométrie répétitive ont été représentées dans ce sens.

Alderson a affirmé avoir mis en place un matériau caractérisé par une propriété élastique, ayant un coefficient de Poisson négatif qu'il a appelé communément « matériau Auxétique ». A partir de là, ce volet de recherche devient alors un terrain de développement assez convoité, notamment pour les nouveaux matériaux. Ceci était possible avec la contribution d'Alderson, où ses travaux ont montré clairement l'importance et l'intérêt de ces matériaux, éventuellement l'évolution de la modélisation, la conception, la fabrication, les essais, et les applications potentielles des solides cellulaires Auxétiques. Les matériaux polymères, composites, et les dispositifs capteurs / actionneurs en génie aérospatial [11] ont poussé la recherche sur l'Auxétisme.

Récemment, Yang et al [12] ont concentré leur avis sur les molécules Auxétiques, en accordant une attention plus aux conceptions moléculaires avec une vue vers nanotechnologie.

2. Procédure Expérimentale

L'objectif principal d'une modélisation numérique est la création d'une image « virtuelle » susceptible de représenter aussi fidèlement que possible le comportement réel d'une structure existante. Cette modélisation passera nécessairement par les étapes essentielles, à savoir :

1. La modélisation géométrique où la forme de la structure est saisie, ce traitement est fait dans le domaine de la CAO.

Le motif choisi est celui du nid d'abeille "réentrant". Une fois conçu sous Solid Works, ce motif sera soumis à une sollicitation de traction afin d'extraire ses paramètres mécaniques, à savoir; les deux modules d'élasticités, longitudinales et transversales et le fameux coefficient de poisson qui caractérise ce milieu Auxétique. Une analyse paramétrique sera ensuite élaborée pour mettre en valeur l'effet de variation des paramètres géométriques attachée à la cellule type (figure.1) sur les caractéristiques mécaniques de ce milieu Auxétique.

Sous l'environnement tridimensionnel, Surfacique ou Volumique, l'application de la répétition Linéaire de la cellule type tridimensionnelle à permis l'obtention du réseau cellulaire orthogonal reflétant la morphologie structurelle de notre milieu Auxétique.

Il est à noter, à ce stade, que le montage du réseau cellulaire est réglé par des cellules pré-dimensionnées, où le moindre changement sur l'une des dimensions géométriques de la cellule type, va se répercuté systématiquement sur l'ensemble du réseau, qui va reprendre ses nouvelles dimensions cellulaires.(Figure.2)

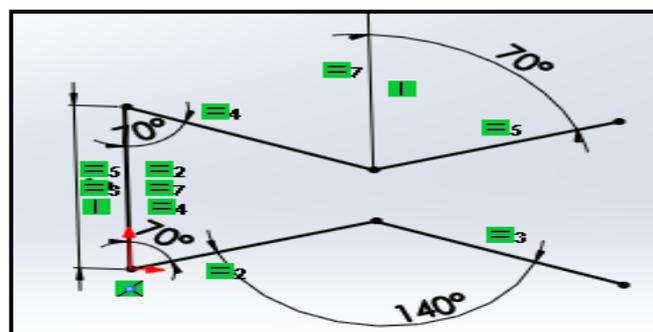


Figure 1: Schéma d'esquisse et dimensions de la cellule type

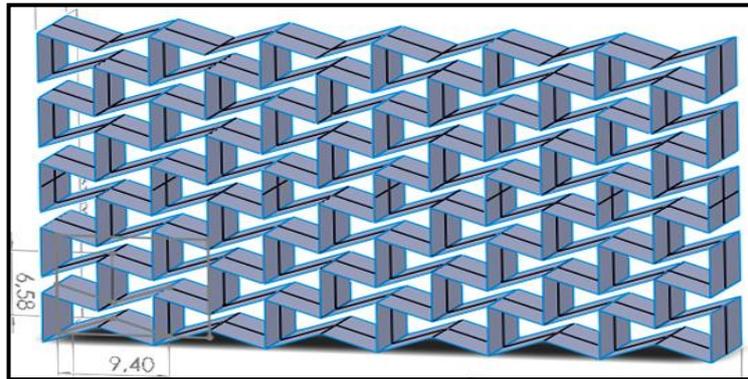


Figure 2 : Conception géométrique du milieu étudié.

2.1. Le Matériau

Avec la commande on affecte les caractéristiques mécaniques du matériau utilisé. Pour notre cas, c'est l'Aluminium Allié (-1060-H12-) qui a été attribué pour ce milieu, avec les caractéristiques suivant :

Tableau 1: les caractéristiques mécaniques du matériau

<i>Le matériau</i>	<i>Les caractéristiques mécaniques</i>
1060-H12	<p>Masse volumique $\rho = 2705 \text{ kg/m}^3$</p> <p>Module de Young $E = 69 \text{ GPa}$</p> <p>Coefficient de poisson $\nu = 0,33$</p> <p>Résistance à la traction est de $R_m = 85 \text{ MPa}$</p> <p>Limite d'élasticité $R_p = 75 \text{ MPa}$</p>

2.2. Les conditions aux limites des déplacements

L'échantillon choisi sera conditionné pour qu'il puisse être sollicité à une traction uniaxiale parfaite ou pure. Pour cela, des appuis simples, avec un blocage unidirectionnel, seront appliqués sur la partie latérale fixe qui est liée au milieu externe (Figure.3)

De l'autre côté opposé, on impose un déplacement longitudinal et uniforme sur l'ensemble des points appartenant à la section d'extrémité libre. (Figure.4).

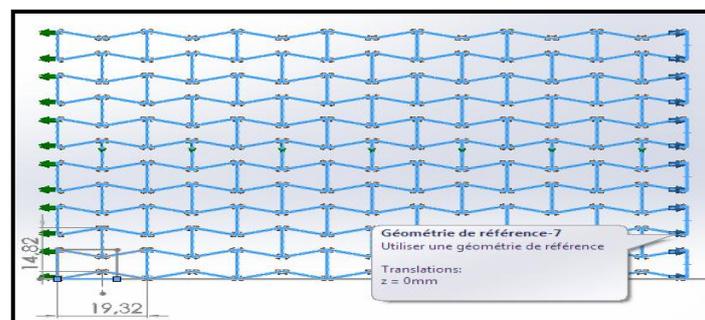


Figure 3 : Blocage unidirectionnel imposé sur l'extrémité fixe.

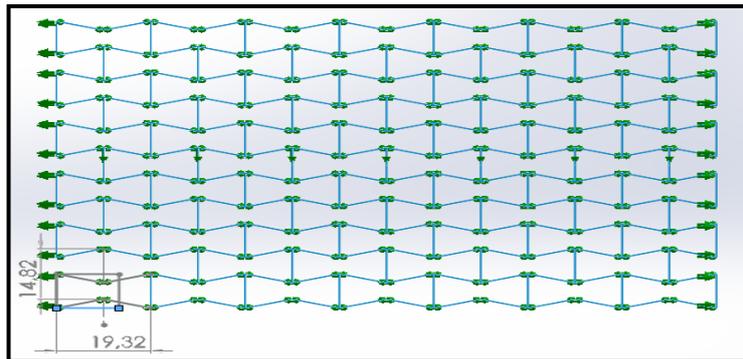


Figure 4 : Le déplacement imposé sur l'extrémité libre.

Il est à noter que, pour éviter les deux basculements, qui peuvent marqués l'instabilité verticale et latérale de l'échantillon, des blocages unidirectionnels, normaux aux plans, sont appliqués sur l'embles des points appartenant aux deux plans médianes de l'échantillon, à savoir;

- Sur le plan horizontal (Figure.5)
- Sur le plan vertical (Figure.6)

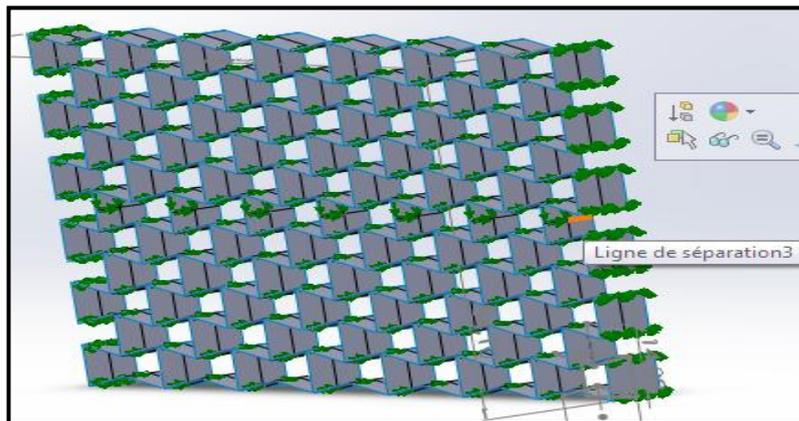


Figure 5 : Le déplacement imposé sur les points du plan horizontal

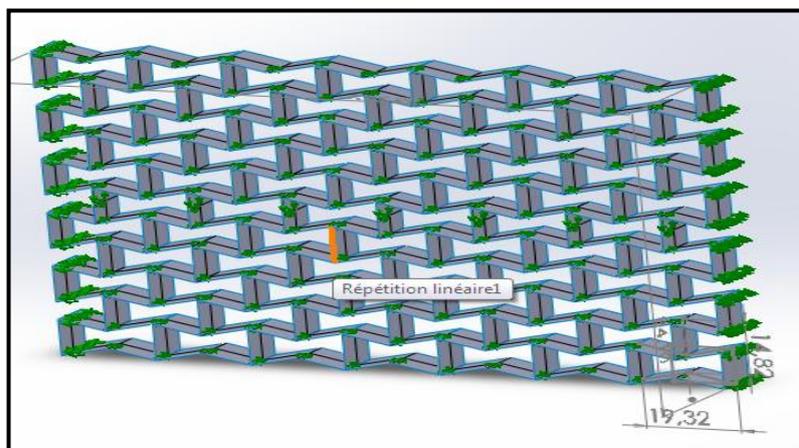


Figure 6 : Le déplacement imposé sur les points du plan vertical.

2.3. Le maillage

La discrétisation de ce milieu cellulaire en élément finis surfaciques et volumiques donne un maillage à l'échelle millimétrique. L'élément fini utilisé est de type plaque triangulaire ou tétraédrique (Figure.7) à quatre nœuds.

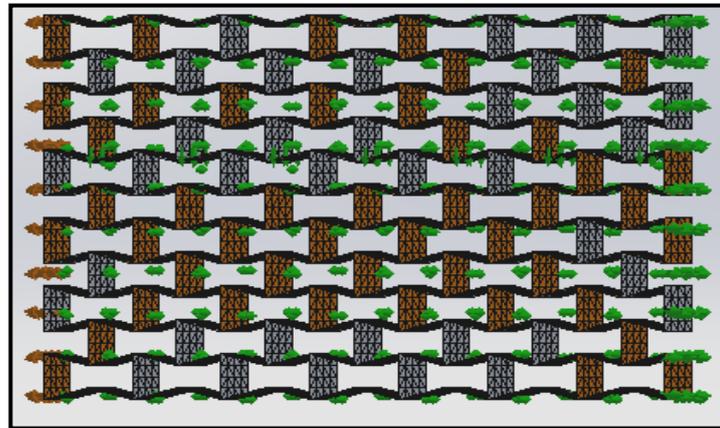


Figure7 : Maillage surfacique de qualité moyenne avec l'élément de La plaque triangulaire.

3. Résultats Et Interprétations

3.1. Effet de la hauteur des parois H

Il est clair que l'augmentation de la hauteur des parois (figure .8) a tendance à rigidifier la structure en entier, donc diminuer les déformations dans les deux sens orthogonaux, ce qui est montré dans les figures suivantes :

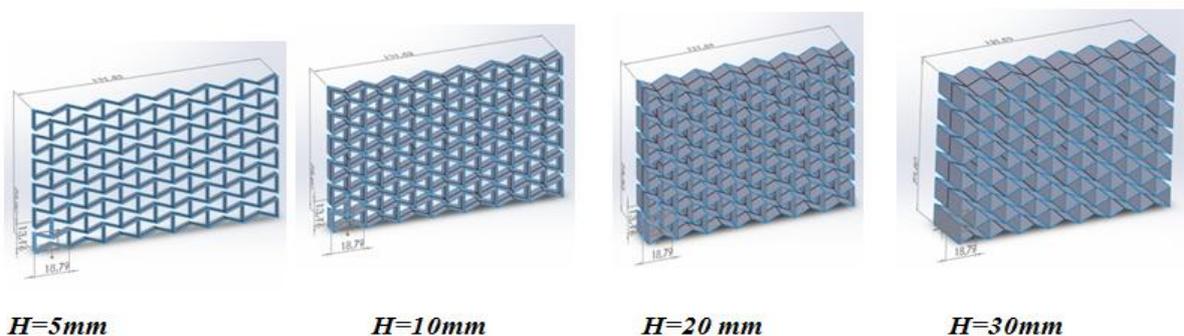


Figure 8 : Illustration de l'augmentation des hauteurs des parois
Tableau 2: les déformations transversales en fonction de la hauteur des parois

$\theta=70^\circ, e=2.5$				
$H(mm)$	5	10	20	30
δ_y	1,05E-03	1,96E-04	5,00E-05	2,00E-05

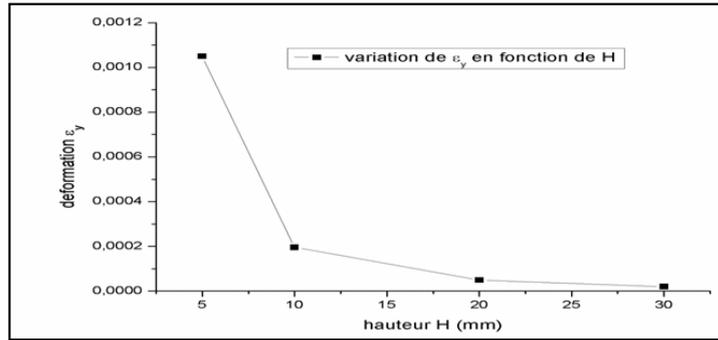


Figure 9: Les déformations transversales en fonction de la hauteur H

La décroissance de ϵ_y suit la loi de tendance suivante :

$$\epsilon_y = AH^{-2.185} \quad (1)$$

Avec A=0.0334.

3.2. Effets sur le coefficient de poisson

Le signe négatif du coefficient de poisson est confirmé sur l'ensemble des échantillons testés (tableau 2) et l'évolution de cette constante en fonction des paramètres cellulaires est montrée dans les figures (10 au 13).

Il est remarqué, dans l'ensemble de ces figures que le coefficient de poisson prend des valeurs maximales pour des épaisseurs maximales. Cette remarque est valable aussi pour l'angle d'orientation des parois.

Tableau 3 : les résultats des coefficients de poisson en fonction de θ

<i>e</i> (mm)	0.8	1.5	2.5	2.75	θ
v	-5,56	-4,2	-2,8	-2,44	$\theta=70^\circ$
v	-5,3	-3,95	-2,57	-2,31	$\theta=75^\circ$
v	-5,2	-3,59	-2,15	-1,86	$\theta=80^\circ$
v	-4,8	-2,75	-1,23	-1,04	$\theta=85^\circ$

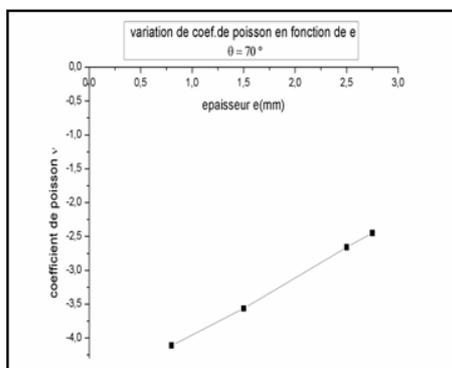


Figure 10: Les coefficients de poissons en fonction des épaisseurs à $\theta=70^\circ$

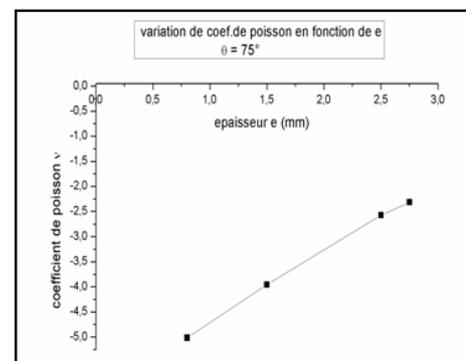


Figure 11: Les coefficients de poissons en fonction des épaisseurs à $\theta=75^\circ$

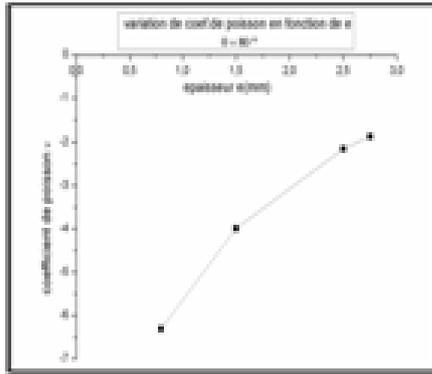


Figure 12: Les coefficients de poissons en Fonction des épaisseurs à $\theta=80^\circ$

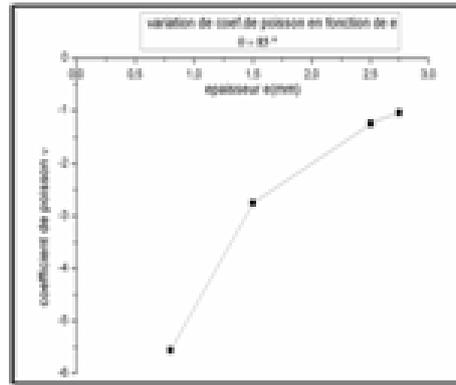


Figure 13: Les coefficients de poissons en Fonction des épaisseurs à $\theta=85^\circ$

Les courbes de tendance extraites de ces figures donnent une formulation analytique suivante:

$$v = \gamma' \ln(e) + \eta' \quad (2)$$

Avec γ' varie entre 1.35 et 3.35 et η' varie entre -3.90 et -5.48

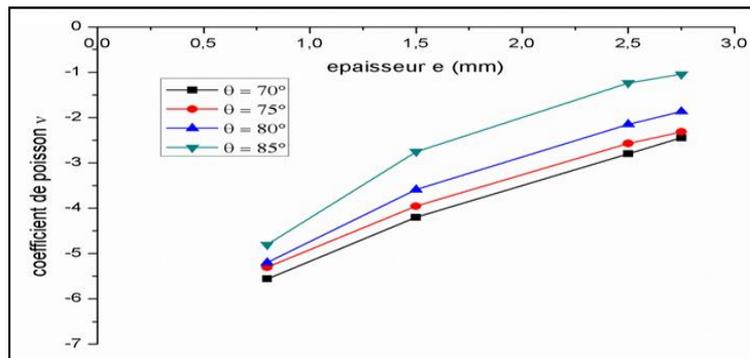


Figure 14: Les coefficients de poisson en fonction des épaisseurs e et θ

4. Conclusion

Notre travail nous a permis de comprendre et d'analyser le comportement des matériaux Auxétiques, Ceci par une simulation numérique adéquate qui prend en charge d'abord la conception assisté par ordinateur où la structure d'un milieu auxétique a été conçue virtuellement puis introduite dans un environnement physique qui utilise la méthode des éléments finis dans le domaine élastique linéaire. Une analyse paramétrique est abordée dans cette étude, en prenant en considération l'effet de l'angle d'orientation et la hauteur des parois. Les principaux résultats sont résumés dans ce qui suit:

- La variation des paramètres géométriques de la cellule type tels que les angles influent sur les résultats des déformations longitudinales, par contre la variation de la hauteur des parois de la cellule unitaire n'ont aucune influence sur les résultats de $\epsilon(x)$.

- La moindre variation de l'angle et l'épaisseur de la cellule unitaire influe directement sur les valeurs de ε (γ).
- Le coefficient de poisson augmente linéairement avec l'augmentation de l'angle d'orientation θ et la hauteur des parois.

Références

- [1] K. Evans, A. Alderson, F. Christian, J. Chem. Soc., Faraday Trans. 91 (1995)2671–2680
- [2] A. E. H. Love. A treatise on the mathematical theory of elasticity. 4th edition, Dover, New York, 1944.
- [3] R. S. Lakes. Foam structures with a negative Poisson's ratio. Science, 235:1038–1040, 1987.
- [4] F. Scarpa, J. A. Giacomini, A. Bezazi, and W. A. Bullough. Dynamic behavior and damping capacity of auxetic foam pads. Proceedings- SPIE the international society for optical engineering, 2006, VOL 6169, pages 61690T 2006.
- [5] K. E. Evans and A. Alderson. Auxetic materials: Functional materials and structures from lateral thinking! Advanced Materials, 12(9):617–628, 2000.
- [6] K. Alderson, K. Evans, J. Phys. D: Appl. Phys. 22 (1989) 1877–1882.
- [7] K. Evans, B. Caddock, J. Phys. D: Appl. Phys. 22 (1989) 1883–1887.
- [8] L. Gibson, M. Ashby, Cellular Solids: Structure and Properties, Pergamon Press, London, 1988.
- [9] R. Lakes, Science 235 (1987) 1038–1040.
- [10] R. Lakes, Science 238 (1987) 551.
- [11] A. Alderson, K. Alderson, J. Aerospace Eng. 221 (2007) 565–575.
- [12] W. Yang, Z. Li, W. Shi, B. Xie, M. Yang, J. Mater. Sci. 39 (2004) 3269–3279.