



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και  
Τεχνολογίας

**Πτυχιακή εργασία**

**ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΝΑΝΟΔΟΜΗΜΕΝΩΝ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ  
ΜΕ ΜΗΤΡΑ ΥΔΡΟΓΟΝΩΜΕΝΟΥ ΑΜΟΡΦΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ  
ΚΑΙ ΕΓΚΛΕΙΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΟΠΤΙΚΕΣ  
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

**Σωφρονίου Παναγιώτα και Φειδίου Άντρη**

**Λεμεσός, Μάιος 2019**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΝΑΝΟΔΟΜΗΜΕΝΩΝ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ  
ΜΕ ΜΗΤΡΑ ΥΔΡΟΓΟΝΩΜΕΝΟΥ ΑΜΟΡΦΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ  
ΚΑΙ ΕΓΚΛΕΙΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΟΠΤΙΚΕΣ  
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

των

Σωφρονίου Παναγιώτα και Φειδίου Άντρη

Επιβλέποντες Ακαδημαϊκοί

Δρ. Λουκάς Κουτσοκέρας

Καθηγητής Παντελεήμων Κελίρης

Λεμεσός, Μάιος 2019

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Σωφρονίου Παναγιώτα και Φειδίου Άντρη, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Επιστήμης και Μηχανικής των Υλικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής, είναι υποχρέωση μας να ευχαριστήσουμε τους ανθρώπους που πίστεψαν σε μας και συνέβαλαν με τον τρόπο τους στη διεκπεραίωση της.

Καταρχάς, οφείλουμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες, στους επιβλέπων ακαδημαϊκούς μας Δρ. Λουκά Κουτσοκέρα και καθηγητή Παντελεήμων Κελίρη, οι οποίοι μας εμπιστεύθηκαν αυτό το ενδιαφέρον θέμα. Ταυτόχρονα, θα θέλαμε να τους ευχαριστήσουμε για την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν, δίνοντας μας τη δυνατότητα να εκπονήσουμε την πτυχιακή μας εργασία στο συγκεκριμένο επιστημονικό τομέα και στην Ερευνητική Μονάδα Νανοδομημένων Συστημάτων και Υλικών του πανεπιστημίου μας. Επίσης, θα θέλαμε να τους ευχαριστήσουμε για τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να απευθύνουμε στο Δρ. Μάριο Κωνσταντίνου, για τις μετρήσεις των δειγμάτων που πραγματοποίησε στο μικροσκόπιο ατομικής δύναμης, για χάριν της εν λόγω πτυχιακής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή με τίτλο «Εναπόθεση νανοδομημένων λεπτών υμενίων με μήτρα υδρογονωμένου άμορφου άνθρακα και εγκλείσματα μετάλλων για οπτικές εφαρμογές» εκπονήθηκε από την Παναγιώτα Σωφρονίου και Άντρη Φειδίου, προπτυχιακές φοιτήτριες του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Επιστήμης και Μηχανικής των υλικών, του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου. Είχε συνολική διάρκεια ενός έτους και διεξήχθη υπό την επίβλεψη του Δρ. Λουκά Κουτσοκέρα και του Καθηγητή Παντελεήμων Κελίρη. Ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2019.

Είναι κοινώς γνωστό ότι ο άμορφος υδρογονωμένος άνθρακας, είναι ένα υλικό με εξαιρετικές μηχανικές, χημικές και οπτικές ιδιότητες. Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την δημιουργία νέων νανოსύνθετων υλικών, με μήτρα άμορφου υδρογονωμένου άνθρακα και εγκλείσματα μεταλλικών νανοσωματιδίων. Σκοπός ήταν ο χαρακτηρισμός των οπτικών τους ιδιοτήτων.

Η εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά αρχικά στο υπό μελέτη πρόβλημα και στη συνέχεια στο σκοπό της πτυχιακής εργασίας. Το δεύτερο, τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο, αποτελούν το θεωρητικό μέρος, σε αυτό αναφέρονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες του άνθρακα και του υδρογονωμένου άμορφου άνθρακα. Ακολουθώντας αναφέρονται τρόποι εναπόθεσης του υδρογονωμένου άμορφου άνθρακα, καθώς επίσης και τρόποι σύνθεσης νανοσωματιδίων και νανοςύνθετων υλικών. Στην συνέχεια, στο πέμπτο κεφάλαιο, καταγράφονται και αναλύονται οι τεχνικές με τις οποίες χαρακτηρίζονται τα δείγματα. Το έκτο κεφάλαιο αποτελεί το πειραματικό μέρος, όπου περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε έτσι ώστε αρχικά να δημιουργηθούν νανοςύνθετα υλικά και στην συνέχεια να χαρακτηριστούν. Στο επόμενο κεφάλαιο, έβδομο στη σειρά, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από όλα τα πειράματα. Τέλος, στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα πειραματικά αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας. Σπουδαιότερο σημείο αποτελεί το γεγονός ότι τα νανοσωματίδια χαλκού επηρεάζουν τις οπτικές ιδιότητες των δειγμάτων, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό, εφόσον τα δείγματα παρέμειναν διάφανα. Παράλληλα, όσο αφορά τις αντί-ανακλαστικές επικαλύψεις, μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος του πάχους του υμενίου με απώτερο σκοπό να βρεθεί η ελάχιστη ανακλαστικότητα σε συγκεκριμένο μήκος κύματος του ορατού φάσματος. Συγκεκριμένα,

τα δείγματα που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντί-ανακλαστικές επικαλύψεις σε μελλοντικές εφαρμογές.

**Λέξεις Κλειδιά:** Νανοσύνθετα, νανοσωματίδια, άμορφος υδρογονωμένος άνθρακας, αντί-ανακλαστικές επιφάνειες, λεπτά υμένια, νανοδομημένα, οπτικές ιδιότητες, χαλκός

## **ABSTRACT**

This thesis titled "Deposition of nanostructured thin films; hydrogenated amorphous carbon matrix combined with metal inclusions for optical applications" was elaborated by Panayiota Sofroniou and Andri Feidiou, undergraduate students of the Department of Mechanical Engineering of Materials Science and Engineering, of the Cyprus University of Technology. It had a total duration of one year and was conducted under the supervision of Dr. Loucas Koutsokeras and professor Panteleimon Keliris. It was completed in May 2019.

It is commonly known that amorphous hydrogenated carbon is a material with excellent mechanical, chemical and optical properties. This paper deals with the creation of new nanocomposite materials with an amorphous hydrogenated carbon matrix and metal nanoparticle inclusions. The aim was to characterize their new optical properties.

The work consists of eight chapters. In the first chapter, reference is made initially to the problem under study and then to the purpose of the dissertation. The second, third and fourth chapters are the theoretical part, some of which are generally characterized by properties of carbon and hydrogenated amorphous carbon. We then discuss ways of depositing hydrogenated amorphous carbon, as well as ways of synthesizing nanoparticles and nanocomposites. Then, in Chapter Five, the techniques by which the samples are characterized are analysed and analysed. The sixth chapter is the experimental part, describing the experimental process followed so that initially nanocomposite materials are created and then characterized. In the next chapter, seventh in a row, the results obtained from all the experiments are presented and analysed. In general, the results are quite satisfactory. Finally, in the eighth and final chapter, the conclusions drawn from the experimental results of this work are presented. The most important point is that copper nanoparticles affect the optical properties of the samples, but not to a significant extent, since the samples remained transparent. At the same time, as far as anti-reflective coatings are concerned, film thickness control can be achieved in order to find the minimum reflectivity at a specific wavelength of the visible spectrum. In particular, the resulting samples can be used as anti-reflective coatings in future applications.



**Key words:** Nanocomposites, nanoparticles, amorphous hydrogenated carbon, anti-reflective surfaces, thin films, nanostructures, optical properties, copper