

# Δομικός και μαγνητικός χαρακτηρισμός νανοσωματιδίων $\text{CoFe}_{2-x}\text{RE}_x\text{O}_4$ (RE=Dy, Yb, Gd) για εφαρμογές μαγνητικής υπερθερμίας

## Περίληψη

Οι φερρίτες κοβαλτίου ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) έχουν προσελκύσει τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, όπως η θερμική τους σταθερότητα, η μηχανική τους αντοχή, αλλά και οι αυξημένες τιμές μαγνητοκρυσταλλικής ανισοτροπίας και συνεκτικού πεδίου που παρουσιάζουν σε συνδυασμό με καλές τιμές της μαγνήτισης κόρου. Τα χαρακτηριστικά τους αυτά, τους καθιστούν υποψήφια υλικά για τη χρήση τους σε ένα εύρος εφαρμογών, τόσο στον τομέα της ιατρικής όσο και στον τομέα της ηλεκτρονικής. Πολλές ερευνητικές ομάδες έχουν αρχίσει να διερευνούν την επίδραση που μπορεί να έχει η υποκατάσταση ιόντων  $\text{Fe}^{3+}$  από ιόντα σπανίων γαιών στις ιδιότητες του  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  με σκοπό τη σύνθεση υλικών με ιδιότητες προσαρμοσμένες κατάλληλα για την εφαρμογή που προορίζονται. Η μαγνητική υπερθερμία αποτελεί μια μέθοδο που διερευνάται για τη θεραπεία του καρκίνου μέσω της χρήσης μαγνητικών νανοσωματιδίων. Τα μαγνητικά νανοσωματίδια λειτουργούν ως κέντρα παραγωγής θερμότητας, κάτω από την επίδραση ενός εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, λόγω της αλληλεπίδρασης των μαγνητικών τους ροπών με αυτό. Ωστόσο η θερμική απόκριση των μαγνητικών νανοσωματιδίων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες συμπεριλαμβανομένων του μεγέθους, της δομής και της στοιχειομετρίας αυτών που μπορεί να οδηγήσουν σε κατάλληλη ρύθμιση των μαγνητικών ιδιοτήτων για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Στην εργασία αυτή μελετώνται φερρίτες κοβαλτίου στους οποίους έγινε μερική υποκατάσταση των ιόντων σιδήρου με κατιόντα σπανίων γαιών δυσπροσίου (Dy), υτερβίου (Yb) και γαδολινίου (Gd) προς σχηματισμό της ένωσης με γενικό ονομαστικό τύπο  $\text{CoFe}_{2-x}\text{RE}_x\text{O}_4$  (όπου RE=Dy, Yb, Gd και  $x=0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3$ ). Η σύνθεση των υλικών έγινε από τους Virfan et. al [30] μέσω της μεθόδου συγκαταβύθισης, ενώ ακολούθησε ανόπτηση μιας ποσότητας των δειγμάτων αυτών στους  $1250^\circ\text{C}$  για 12 ώρες στον αέρα, με σκοπό τη χαλάρωση της δομής που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη διάχυση των κατιόντων σπάνιας γαίας στο πλέγμα του σπινελίου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ο δομικός και μαγνητικός χαρακτηρισμός των δειγμάτων, τόσο πριν όσο και μετά την ανόπτηση, ώστε να γίνει διερεύνηση του κατά πόσο η θερμική κατεργασία μπορεί να βοηθήσει στην χαλάρωση των τάσεων και την καλύτερη ανακατανομή αλλά και είσοδο των κατιόντων της σπάνιας γαίας στο πλέγμα του σπινελίου, βελτιώνοντας τις μαγνητικές τους ιδιότητες. Έγινε επίσης η εκτίμηση της θερμικής απόκρισης των δειγμάτων και για τις τρεις σειρές προσμίξεων, τόσο πριν όσο και μετά την ανόπτηση, σε πεδίο 25 mT και συχνότητα 765 kHz, ώστε να αξιολογηθεί η επίδραση της ανόπτησης αλλά και των προσμίξεων στις τιμές των ειδικών απωλειών ισχύος (SLP). Για την εκτίμηση των δεικτών SLP μέσω της θερμιδομετρικής μεθόδου λήφθηκαν τα διαλύματα των δειγμάτων (10 mg/ml, διαλύτη απιονισμένο νερό). Επιπλέον, με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση των διαφορετικών συνθηκών πεδίου και συχνότητας στη θερμική απόδοση των υλικών, ανάλογα με τις μαγνητικές ιδιότητες αυτών, υπολογίστηκαν οι ειδικές απώλειες ισχύος (SLP) για τα δείγματα της σειράς με πρόσμιξη Dy, πριν και μετά την ανόπτηση, σε δύο διαφορετικές συνθήκες πεδίου και συχνότητας (25 mT-765 kHz, 70 mT-375 kHz). Τέλος, η εκτίμηση των δεικτών SLP πραγματοποιήθηκε και μέσω της μαγνητομετρικής μεθόδου (VSM) για ορισμένα από τα δείγματα, ώστε να γίνει σύγκριση των δύο μεθόδων, αλλά και διερεύνηση των πιθανών μηχανισμών απωλειών ενέργειας. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν βοηθούν στην κατανόηση της επίδρασης τόσο της

ανόπτησης όσο και των προσμίξεων σπανίων γαιών στις δομικές, μαγνητικές αλλά και θερμικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων φερρίτη κοβαλτίου. Επίσης, η χρήση δυο διαφορετικών συνθηκών πεδίου και συχνότητας αλλά και δύο διαφορετικών μεθόδων υπολογισμού του SLP (μαγνητομετρία και θερμοδομετρία) έχει στόχο να δοθεί έμφαση στην πολυπαραγοντική εξάρτηση της θερμικής απόκρισης των νανοσωματιδίων και να τονιστεί η ανάγκη για κατάλληλη ρύθμιση των ιδιοτήτων των σωματιδίων, αλλά και καλό σχεδιασμό όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν τις θερμικές απώλειες. Σκοπό αποτελεί η σταθερότητα και επαναληψιμότητα του θερμικού αποτελέσματος με τελικό στόχο να μπορέσει η μαγνητική υπερθερμία να χρησιμοποιηθεί στην κλινική πράξη για την καταπολέμηση του καρκίνου.