



**ΕΛΙΔΕΚ.**  
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

**Περιγραφή Χρηματοδοτούμενου Ερευνητικού Έργου**  
**1η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την**  
**ενίσχυση των Μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την**  
**προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας**

# Πορώδη Μεσοσκοπικά Πλέγματα Μη-Οξειδικών Νανοσωματιδίων για Εφαρμογές Φωτοηλεκτροκαταλυτικής Μετατροπής Ενέργειας

**Επιστημονικός Υπεύθυνος:** Γεράσιμος Σ. Αρματάς

**Φιλικός προς τον αναγνώστη τίτλος:** NanoFuel-H2

**Επιστημονική Περιοχή:** Περιβάλλον και Ενέργεια

**Φορέας Προέλευσης και Χώρα:** Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ελλάδα

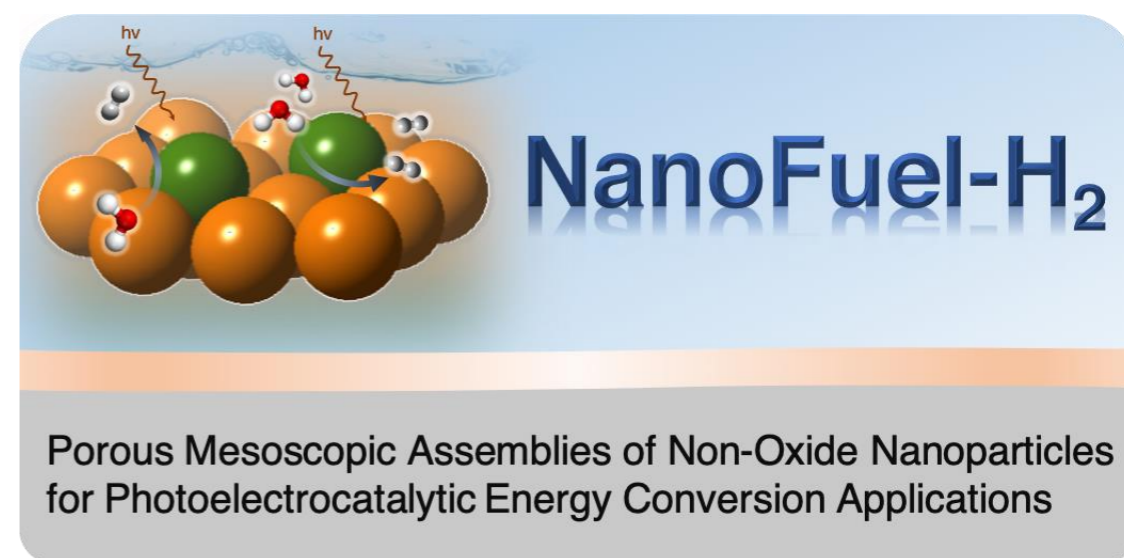
**Φορέας Υποδοχής:** Πανεπιστήμιο Κρήτης

**Συνεργαζόμενοι Φορείς:** Πανεπιστήμιο Northwestern, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Nanyang, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

**Ιστοσελίδα προβολής του Έργου:**  
<https://www.materials.uoc.gr/garmatas/research.html>

**Ποσό Χρηματοδότησης:** 169.983,00 €

**Διάρκεια Χρηματοδότησης:** 36 μήνες



**Ε.Υ. Καθ. Γεράσιμος Αρματάς**

Η φωτοηλεκτροχημική διάσπαση του νερού προς παραγωγή υδρογόνου αποτελεί μια ιδιαίτερα ελκυστική λύση του ενεργειακού προβλήματος. Η διαδικασία αυτή, εμπνευσμένη από τη φυσική φωτοσύνθεση, περιλαμβάνει την ηλεκτροχημική μετατροπή του νερού πάνω σε ένα ημιαγώγιμο υλικό χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια. Πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε υδρογόνο των φωτοηλεκτροχημικών κελιών έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων φωτοκαταλυτών στη νανοκλίμακα. Η ανάπτυξη νανοδιάστατων ημιαγώγιμων υλικών μπορεί να προσφέρει νέες ευκαιρίες στην αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων στην παραγωγή υδρογόνου. Νανοσωματίδια μικρού μεγέθους (2–20 nm), σε αντίθεση με τα μακροσκοπικά στερεά, προσφέρουν σπουδαίες προοπτικές λόγω της υψηλής απόδοσης συλλογής φωτονίων και μικρής πιθανότητας επανασύνδεσης ηλεκτρονίου-οπής. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή αυτών των νανοϋλικών εξαρτάται από την ικανότητά τους να σχηματίζουν τρισδιάστατες πορώδεις νανοδομές. Μέχρι σήμερα η σύνθεση μεσοδομών με υψηλή ειδική επιφάνεια και ανοιχτούς πόρους από νανοσωματίδια αποτελεί μια ανοιχτή πρόκληση.

Η παρούσα πρόταση αποσκοπεί στην ανάπτυξη και την μελέτη των φωτοηλεκτροχημικών ιδιοτήτων μεσοπορώδων πλεγμάτων από νανοσωματίδια χαλκογονιδίου μετάλλου (TMC). TMCs, κυρίως σπινέλια όπως  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  and  $\text{NiCo}_2\text{S}_4$ , εμφανίζουν μια ηλεκτρονιακή δομή κατάλληλη για την φωτοδιάσπαση νερού και παρουσιάζουν εξαιρετικές ιδιότητες μεταφοράς φορτίου, ικανοποιητική χημική σταθερότητα κυρίως σε βασικό διάλυμα, και υψηλή απόκριση στην ορατή ακτινοβολία. Επίσης, θειοσπινέλια είναι μη-τοξικά και φθηνά υλικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά τα καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικά για τεχνολογικές εφαρμογές στη φωτοκατάλυση και μετατροπή ενέργειας. Σύνθετα μεσοπορώδη πλέγματα από νανοσωματίδια χαλκογονιδίων μετάλλων και φωσφιδίων μετάλλων μετάπτωσης (TMPs) (π.χ.  $\text{Ni}_2\text{P}$  και  $\text{CoP}$ ) αποτελούν επίσης σημαντικό αντικείμενο αυτής της πρότασης. Τέτοιες σύνθετες μεσοδομές αναμένεται να συνδυάζουν διακριτές λειτουργικότητες στην ανόργανη δομή όπως υψηλό πορώδες και φωτοηλεκτροχημική δραστηριότητα, οι οποίες είναι δύσκολο να ληφθούν σε μεμονωμένα νανοσωματίδια ή συμβατικά πορώδη στερεά. Πορώδη συσσωματώματα νανοσωματιδίων TMC και TMP θα μελετηθούν ως ηλεκτρόδια σε φωτοηλεκτροχημικές κυψέλες για τη διάσπαση του νερού προς παραγωγή υδρογόνου, κάτω από ακτινοβολία ορατού, χωρίς συνεχή προδιάθεση (bias).

Σήμερα, το υδρογόνο παράγεται κυρίως με αναμόρφωση ορυκτών καυσίμων, η οποία είναι μια μη-φιλική προς το περιβάλλον και δαπανηρή διαδικασία. Πρόσφατα, η φωτοκατάλυση έχει απολέσει μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση για την οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή υδρογόνου με χρήση ηλιακής ενέργειας. Παρά αυτά τα οφέλη, οι φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις, ωστόσο, είναι πολύπλοκες και χαρακτηρίζονται από χαμηλή απόδοση, συνήθως εξαιτίας της γρήγορης επανασύνδεσης ηλεκτρονίου-οπής και της χαμηλής απορρόφησης του ορατού φωτός από τον καταλύτη.

Νανοδιάστατοι ημιαγωγοί χαλκογονιδίου μετάλλου με δομή σπινελίου βρίσκονται στο επίκεντρο της τρέχουσας έρευνας για ενεργειακές εφαρμογές. Φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενα υλικά στην αντιμετώπιση των προαναφερθέντων περιορισμών, επιδεικνύοντας αξιολογές προοπτικές για εφαρμογή στη φωτοκατάλυση καθώς και τα φωτοβολταϊκά κελιά. Μέχρι στιγμής, τα σπινέλια χαλκογονιδίου μετάλλου που έχουν χρησιμοποιηθεί για φωτοχημική μετατροπή ενέργειας είναι μακροσκοπικά στερεά ή λεπτά υμένια. Επίσης, υπάρχουν ελάχιστες δημοσιεύσεις σχετικά με τη χρήση των φωσφιδίων μετάλλων ως φωτοκαταλύτες για την παραγωγή υδρογόνου. Ενώ μόλις πρόσφατα, κάποιες μέθοδοι για την παρασκευή νανοθειοσπινελίων έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία. Οι μελέτες αυτές περιγράφουν τη σύνθεση θειοσπινελίων με καθορισμένη σύσταση και μέγεθος σωματιδίου, καθιστώντας τα κατάλληλες πρόδρομες ενώσεις για την ανάπτυξη 3D μεσοδομών.

Η ιδέα να συνδυάσουμε αυτο-συναρμολογούμενες 3D δομές θειοσπινελίων με υψηλό πορώδες για την παραγωγή ηλιακών καυσίμου είναι πρωτότυπη και δεν έχει αναφερθεί μέχρι τώρα. Η πρόταση αυτή έχει ως στόχο να αναπτύξει μια νέα οικογένεια υλικών για εφαρμογές στη φωτοκατάλυση. Συγκριτικά με τα μεμονωμένα νανοσωματίδια, οι 3D μεσοδομές εμφανίζουν πρόσθετα χαρακτηριστικά όπως μεγάλη εσωτερική επιφάνεια. Επιπλέον, ένα καλά συνδεδεμένο δίκτυο νανοσωματιδίων έχει τη δυνατότητα να εμφανίζει υψηλή κινητικότητα φορέων φορτίου κατά μήκος του πλέγματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να παρέχουν μεγάλη διεπιφάνεια επαφής μεταξύ καταλύτη/ηλεκτρολύτη και βελτιωμένη απόδοση διαχωρισμού φορέων φορτίου. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη αυτών των καινοτόμων καταλυτών μπορεί να προσφέρει νέες ευκαιρίες για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων της φωτοηλεκτροχημικής διάσπασης του νερού.

## **Επιστημονική, οικονομική και κοινωνική απήχηση**

### **Πέρα από την αιχμή της επιστήμης**

Εστιάζοντας στην έρευνα και σε προηγμένες μεθόδους σύνθεσης και οργανολογίας για την ανάπτυξη νανοϋλικών με βελτιωμένες φωτοηλεκτροχημικές ιδιότητες, το έργο αυτό θα επιτύχει σημαντικά αποτελέσματα στους τομείς της νανοχημείας και νανοκατάλυσης. Τα αποτελέσματα αυτά αναμένεται να προσφέρουν ένα εργαλείο γνώσης, προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι διαδικασίες που διέπουν την μεσοσκοπική οργάνωση κολλοειδών νανοσωματιδίων καθώς και η καταλυτική συμπεριφορά σύνθετων νανοδιάστατων υλικών.

### **Επιπτώσεις στην επιστήμη**

Η δυνατότητα να αναπτυχθούν νέες χαμηλού κόστους μεσοσκοπικές συναρμολογήσεις από νανοσωματίδια θα δημιουργήσει νέες προοπτικές για τα πορώδη υλικά. Συστήματα που συνδυάζουν διακριτά χαρακτηριστικά, όπως υψηλό πορώδες και οπτικές ιδιότητες, θα μπορούσαν να είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για εφαρμογές στη φωτοχημική ανίχνευση και τις διόδους εκπομπής φωτός (LEDs).

### **Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις**

Η πρόταση αυτή έχει ως στόχο να συμβάλει στη μεσο και μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της ενεργειακής αυτάρκειας, η οποία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της κοινωνίας μας. Μια πολλά υποσχόμενη λύση σε αυτή την πρόκληση είναι η ανάπτυξη νέων φωτοκαταλυτών στη νανοκλίμακα. Οι νέοι αυτοί καταλύτες θα είναι χρήσιμοι σε πρακτικές εφαρμογές όπως η διάσπαση νερού για παραγωγή υδρογόνου.

### **Απόκτηση επαγγελματικών γνώσεων**

Το έργο αυτό αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία για τα μέλη της ερευνητικής ομάδας να διεξάγουν έρευνα σε ένα διεπιστημονικό πεδίο αιχμής με μεγάλο επιστημονικό και τεχνολογικό αντίκτυπο. Η ερευνητική ομάδα θα αποκομίσει σημαντική εμπειρία και γνώση σε τεχνικές ανάπτυξης και χαρακτηρισμού σύνθετων νανοϋλικών. Επίσης, πολύτιμες θα είναι οι ακαδημαϊκές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του Φορέα Υποδοχής και παγκοσμίου φήμης πανεπιστήμια όπως το Πανεπιστήμιο Northwestern, το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Nanyang και το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Το έργο αυτό αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία για τον επιστημονικό υπεύθυνο και την ερευνητική του ομάδα να διεξάγουν έρευνα σε ένα διεπιστημονικό πεδίο αιχμής με μεγάλο επιστημονικό και τεχνολογικό αντίκτυπο. Η ερευνητική ομάδα θα αποκομίσει σημαντική εμπειρία και γνώση σε σύγχρονες τεχνικές ανάπτυξης και χαρακτηρισμού σύνθετων νανοϋλικών. Τα αποτελέσματα του έργου αναμένεται να προσφέρουν ένα εργαλείο γνώσης, προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι διαδικασίες που διέπουν την μεσοσκοπική οργάνωση κολλοειδών νανοσωματιδίων καθώς και την καταλυτική συμπεριφορά πολύπλοκων νανοϋλικών. Επίσης, κατά την υλοποίηση του έργου, θα αναπτυχθούν πολύτιμες ακαδημαϊκές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του Φορέα Υποδοχής (Πανεπιστήμιο Κρήτης) και παγκοσμίου φήμης πανεπιστήμια όπως το Πανεπιστήμιο Northwestern (ΗΠΑ), το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Nanyang (Σιγκαπούρη) και το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου (Κύπρος). Όλα τα παραπάνω θα ενισχύσουν το επιστημονικό προφίλ του υπεύθυνου και θα του επιτρέψουν να διεξάγει υψηλού επιπέδου έρευνα κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας του έργου.



**ΕΛΙΔΕΚ.**  
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

## ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Λ. Συγγρού 185 & Σάρδεων 2  
ΤΚ. 17121, Νέα Σμύρνη, Ελλάδα  
210 64 12 410, 420  
communication@elidek.gr  
[www.elidek.gr](http://www.elidek.gr)