



ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολής Ανθρωπιστικών Επιστημών

Τμήμα Ξένων Γλωσσών, Μετάφρασης και Διερμηνείας

Πτυχιακή εργασία με θέμα

**«Τεχνική Μετάφραση από Αγγλικά σε Ελληνικά του Επιστημονικού Άρθρου:
Ανάπτυξη ενός καθαρού και μονοφασικού λεπτού υμενίου θειούχου σιδήρου (πυρίτη)
με ηλεκτροχημική εναπόθεση για φωτοβολταϊκές εφαρμογές»**

Φοιτήτρια: Ερσίλντα Μάρρα

Αριθμός Μητρώου: Ξ2015085

Επιβλέπων Καθηγητής Α: Κεραμίδας Σωτήριος

Επιβλέπων Καθηγητής Β: Κελάνδριας Παναγιώτης

Αθήνα, 2024

«Τεχνική Μετάφραση από Αγγλικά σε Ελληνικά του Επιστημονικού Άρθρου: Ανάπτυξη ενός καθαρού και μονοφασικού λεπτού υμενίου θειούχου σιδήρου (πυρίτη) με ηλεκτροχημική εναπόθεση για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (Growth of a Pure and Single Phase Iron Sulfide (Pyrite) Thin Film by Electrochemical Deposition for Photovoltaic Applications)»

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ: σελ.1

ΜΕΤΑΦΡΑΣΜΑ: σελ. 2

ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ ΚΕΙΜΕΝΟ: σελ.14

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ: σελ. 23

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: σελ.28

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο τη μετάφραση του επιστημονικού άρθρου με τίτλο "Growth of a Pure and Single Phase Iron Sulfide (Pyrite) Thin Film by Electrochemical Deposition for Photovoltaic Applications", το οποίο δημοσιεύθηκε στις 24 Σεπτεμβρίου του 2019 στο Scientific Research Publishing από τους Emmanuel A. Botchway, Francis K. Ampong, Isaac Nkrumah, Francis K. Boakye και Robert K. Nkum από το Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Επιστήμης και Τεχνολογίας Kwame Nkrumah στην Κουμάσι της Γκάνα.

Το άρθρο αυτό εξετάζει την ανάπτυξη ενός καθαρού και μονοφασικού λεπτού υμενίου θειούχου σιδήρου (πυρίτης) μέσω ηλεκτροχημικής απόθεσης, με σκοπό την εφαρμογή του σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Η έρευνα αποτελεί σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών κυψελών, συμβάλλοντας στη βιώσιμη ενεργειακή παραγωγή.

Η μετάφραση επιστημονικών κειμένων από την αγγλική στην ελληνική γλώσσα είναι ουσιώδης για τη διάχυση της γνώσης και την ενίσχυση της κατανόησης μεταξύ των επιστημονικών κοινοτήτων διαφορετικών χωρών. Η εργασία αυτή αποσκοπεί στη μεταφορά της πληροφορίας και την προσαρμογή της στα ελληνικά επιστημονικά δεδομένα, αναδεικνύοντας τη σημαντικότητα της έρευνας στην εγχώρια επιστημονική κοινότητα.

Η συγκεκριμένη μετάφραση φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για μελλοντικούς ερευνητές και φοιτητές, παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να εμβαθύνουν στις νέες τεχνολογίες και μεθόδους που αναπτύσσονται για την παραγωγή καθαρής ενέργειας.

ΜΕΤΑΦΡΑΣΜΑ

Ανάπτυξη ενός καθαρού και μονοφασικού λεπτού υμενίου θειούχου σιδήρου

(πυρίτη) με ηλεκτροχημική εναπόθεση για φωτοβολταϊκές εφαρμογές

Emmanuel A. Botchway, Francis K. Ampong, Isaac Nkrumah, Francis K.

Boakye, Robert K. Nkum

Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας Kwame Nkrumah,

Kumasi, Γκάνα

Περίληψη

Με επιτυχία εναποτέθηκαν υμένια μονοφασικού σιδηροπυρίτη (FeS_2) σε γυάλινα υποστρώματα με επικάλυψη ITO χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτροχημικό σύστημα 3 ηλεκτροδίων με γραφίτη ως αντιηλεκτρόδιο και Ag/AgCl ως ηλεκτρόδιο αναφοράς. Σε αυτή την ηλεκτροαπόθεση ενός σταδίου, το πρόδρομο λεπτό υμένιο FeS ηλεκτροαποτέθηκε απευθείας στο αγωγίμο υπόστρωμα από το διάλυμα ηλεκτρολυτικού λουτρού που περιείχε $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ως πηγή σιδήρου και $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ως πηγή θείου. Η εναπόθεση πραγματοποιήθηκε ποτενσιοστατικά σε σταθερό δυναμικό $-0,9 \text{ V}$ έναντι Ag/AgCl σε θερμοκρασία δωματίου. Η ανάπτυξη της φάσης του σιδηροπυρίτη επιτεύχθηκε με ανόπτηση του όπως εναποτέθηκε στους 500°C για μία ώρα σε περιβάλλον θείου για να σχηματιστεί η φάση του πυρίτη. Για τη θείωση χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές τεχνικές, μία με τη χρήση της συσκευής του Kipp και μία δεύτερη, η οποία περιελάμβανε θέρμανση στοιχειακού θείου στους 200°C , για την παραγωγή του αερίου θείου. Οι αναλύσεις περίθλασης ακτίνων X των θειωμένων υμενίων έδειξαν ότι και οι δύο τεχνικές θείωσης φάνηκε να σχηματίζουν τη φάση του πυρίτη, ωστόσο η δεύτερη μέθοδος έδωσε υμένια με μέγιστη κρυσταλλική τάξη και στοιχειομετρία χωρίς διακριτές κορυφές προσμίξεων.

Οι μετρήσεις οπτικής απορρόφησης αποκάλυψαν την ύπαρξη άμεσης μετάβασης με εκτιμώμενο χάσμα ζώνης 1,75 eV. Η μικρογραφία SEM έδειξε μια συμπαγή μορφολογία με τραχιά επιφάνεια αποτελούμενη από κρυσταλλίτες ακανόνιστου σχήματος και μεγέθους με καλά καθορισμένες ακμές, που κάλυπτε ολόκληρο το υπόστρωμα. Η ανάλυση EDAX του υμενίου ήταν σύμφωνη με το σχηματισμό λεπτών υμενίων πυρίτη FeS₂.

1. Εισαγωγή

Η φάση του πυρίτη σουλφιδίου του σιδήρου (FeS₂) είναι ένα ημιαγωγικό υλικό με αξιοσημείωτες ιδιότητες κατάλληλο για εφαρμογές ηλιακών κυψελών. Είναι μη τοξικό και τα συστατικά του, ο σίδηρος και το θείο, θεωρούνται στοιχεία που βρίσκονται σε μεγάλη αφθονία με χαμηλό κόστος εξόρυξης και επεξεργασίας [1]. Αυτό καθιστά την παραγωγή των υλικών αυτών σε μεγάλη κλίμακα αρκετά εφικτή και οικονομικά αποδοτική.

Ο πυρίτης είναι ένα απορροφητικό υλικό που μπορεί να είναι είτε ημιαγωγός τύπου n είτε ημιαγωγός τύπου p, ανάλογα με τον τύπο των προσμίξεων [2]. Ο πυρίτης έχει τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται μεταξύ 0,05 και 3,5 (Ω·cm)⁻¹ και συγκέντρωση φορέων που κυμαίνεται μεταξύ $6,9 \times 10^{15}$ και $5,4 \times 10^{17}$ cm⁻³ [3]. Ως αποτέλεσμα του μέτριου χάσματος ζώνης του 0,95 eV και του υψηλού συντελεστή οπτικής απορρόφησης στη μεσαία υπέρυθρη περιοχή, ο σιδηροπυρίτης θεωρείται ένα από τα πιο υποσχόμενα υλικά ημιαγωγών για την κάλυψη της πιεστικής ζήτησης για ενεργειακές λύσεις χαμηλού κόστους. Έχει ανώτερες ηλεκτρικές ιδιότητες με μεγάλο μήκος διάχυσης φορέων μειονότητας ~0,1 έως 1,0 μm και κινητικότητα φορέων περίπου 360 cm² ·V⁻¹ ·s⁻¹ [4]. Το πλεονέκτημα της ύπαρξης υψηλού συντελεστή απορρόφησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς απαιτούνται μόνο περίπου 40 nm πυρίτη για να απορροφηθεί το 90% του προσπίπτοντος φωτός [5].

Οι διατάξεις πυρίτη παρουσιάζουν αυξημένη κβαντική απόδοση (συχνά >90%) και φωτορεύματα ($>40 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$) αλλά μικρές φωτοτάσεις (συνήθως <200 mV, ~20% του χάσματος ζώνης). Η χαμηλή τιμή της φωτοτάσης ευθύνεται για την περιορισμένη απόδοση των ηλιακών κυψελών

Αν και η θεωρητική έρευνα προέβλεπε ότι θα ήταν εφικτή η επίτευξη απόδοσης μεγαλύτερης από 18%, στην πραγματικότητα, τα ηλιακά κύτταρα με βάση τον πυρίτη που έχουν κατασκευαστεί μέχρι σήμερα δείχνουν ότι η απόδοση μετατροπής είναι μικρότερη από 3% [7]. Η χαμηλή φωτεινή τάση αποδίδεται σε κενά όγκου και επιφάνειας που παράγουν ηλεκτρονικές καταστάσεις εντός του χάσματος ζώνης [6].

Η χαμηλή απόδοση πιστεύεται επιπλέον ότι οφείλεται σε προσμίξεις φάσης όπως ο μαρκασίτης που σχηματίζεται μαζί με τον πυρίτη όταν αναπτύσσεται από υδατικά διαλύματα [8]. Αυτή η μικτή φάση του FeS_2 επιδεινώνει επίσης τη φωτοβολταϊκή του απόδοση.

Διάφορες τεχνικές είναι διαθέσιμες για την εναπόθεση λεπτών υμενίων FeS_2 . Μεταξύ αυτών των τεχνικών, η ηλεκτροχημική εναπόθεση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως: δυνατότητα ελέγχου του πάχους, της σύνθεσης, της μορφολογίας κ.λπ. του υμενίου, κυρίως μέσω του ελέγχου των ηλεκτρικών παραμέτρων, όπως η τάση του ηλεκτροδίου και η πυκνότητα ρεύματος, οι οποίες είναι εύκολα ρυθμιζόμενες. Η τεχνική είναι απλή και οικονομική λόγω της χρήσης συσκευών χαμηλού κόστους, χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας και αμελητέων αποβλήτων.

Η ηλεκτροχημική εναπόθεση σουλφιδίου του σιδήρου πραγματοποιείται συνήθως με διεργασία δύο σταδίων, χρησιμοποιώντας άμεση ηλεκτροαπόθεση σύνθετης ουσίας και στη συνέχεια θείωση για να ληφθεί η φάση του πυρίτη. Η θείωση παίζει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη μονοφασικών υμενίων πυρίτη, περιλαμβάνει θερμική επεξεργασία του λεπτού υμενίου σε ατμόσφαιρα πλούσια σε θείο. Ο κύριος σκοπός είναι να αυξηθεί η συγκέντρωση θείου στα υμένια και στην περίπτωση αυτή να συμπληρωθούν τα κενά θείου που συνήθως απαντώνται στα συστήματα FeS .

Η επιλογή της τεχνικής θείωσης είναι καθοριστικής σημασίας για τον καθορισμό του επιπέδου καθαρότητας του λεπτού υμενίου σιδηροπυρίτη. Διαφορετικές τεχνικές θείωσης θα παρήγαγαν υμένια σιδηροπυρίτη με διαφορετικά επίπεδα καθαρότητας. Λίγοι συγγραφείς έχουν μελετήσει και αναφερθεί σε διαφορετικές πτυχές της ηλεκτροχημικής εναπόθεσης λεπτών υμενίων θειούχου σιδήρου. Οι Arico κ.ά. [9] μελέτησαν ορισμένες δομικές ιδιότητες λεπτών υμενίων θειούχου σιδήρου με ηλεκτροαπόθεση σε υποστρώματα πλατίνας. Οι Dong κ.ά. [10] μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας θείωσης στη δομή λεπτών υμενίων σουλφιδίου του σιδήρου (FeS) που εναποτίθενται σε υποστρώματα οξειδίου του ινδίου-κασσιτέρου (ITO) με ηλεκτροχημική εναπόθεση, ενώ οι Wang κ.ά. [11] μελέτησαν την επίδραση του χρόνου θείωσης στη δομή λεπτών υμενίων σουλφιδίου του σιδήρου που εναποτίθενται με ηλεκτροαπόθεση. Τέλος, οι Kawai et al. [12] μελέτησαν τις βέλτιστες συνθήκες για την ηλεκτροαπόθεση λεπτών υμενίων θειούχου σιδήρου. Καθένας από αυτούς τους συγγραφείς χρησιμοποίησε τους δικούς του μοναδικούς ηλεκτροχημικούς παράγοντες, όπως το pH, η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη, το δυναμικό εναπόθεσης και η θερμοκρασία και ο χρόνος εναπόθεσης. Στην παρούσα εργασία, η χρήση γραφίτη ως αντιηλεκτρόδιο, το δυναμικό εναπόθεσης σε σχέση με το Ag/AgCl , το pH του ηλεκτρολύτη και οι συγκεντρώσεις $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ και $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του ηλεκτρολύτη είναι μοναδικές για την παρούσα εργασία. Επινοήσαμε επίσης τη δική μας τεχνική για την επεξεργασία μετά την εναπόθεση των δειγμάτων όπως εναποτέθηκαν πριν από τη θείωση.

1. Υλικά και μέθοδοι

Μια συμβατική διάταξη τριών ηλεκτροδίων, αποτελούμενη από ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς Ag/AgCl , μια πλάκα γραφίτη ως αντιηλεκτρόδιο και ένα γυάλινο υπόστρωμα με επικάλυψη ITO ως ηλεκτρόδιο εργασίας, χρησιμοποιήθηκε για την ηλεκτροαπόθεση. Το διάλυμα ηλεκτρολύτη περιείχε $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ως πηγή σιδήρου, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ χρησιμοποιήθηκε ως πηγή θείου, H_2SO_4 χρησιμοποιήθηκε για τη ρύθμιση του pH κατά τη διαδικασία της ηλεκτροαπόθεσης.

Για την παρασκευή του ηλεκτρολύτη, ίσοι όγκοι (~40 ml) 0,24 M $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ και 0,45 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ αναμείχθηκαν μαζί σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Το διάλυμα που προέκυψε είχε $\text{pH} = 3,73$ σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτό το pH ρυθμίστηκε από 3,73 σε 1,96 με την προσθήκη μερικών σταγόνων 2M H_2SO_4 , αυτό έγινε για να βελτιωθεί η προσκόλληση των ηλεκτρολυτών. Το διάλυμα έγινε θολό κατά την προσθήκη του οξέος λόγω του σχηματισμού στοιχειακού θείου. Μετά από περίπου 20 έως 30 λεπτά ο ηλεκτρολύτης στο λουτρό άρχισε ξαφνικά να μετατρέπεται από θολό σε άχρωμο, καθώς το ίζημα θείου είχε κατακαθίσει στον πυθμένα του ποτηριού ζέσεως. Η ηλεκτροαπόθεση πραγματοποιήθηκε ποτενσιοστατικά με τη χρήση ποτενσιοστάτη-γαλβανοστάτη Echem ER466, σε σταθερό δυναμικό -0,9 V έναντι Ag/AgCl σε θερμοκρασία δωματίου ($30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$). Κατά την ηλεκτροαπόθεση εξασφαλίστηκε χρόνος ανάπτυξης ~30 λεπτών. Πέραν αυτού του χρόνου τα υμένια γίνονται πολύ παχιά. Το διάγραμμα της πειραματικής διάταξης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Οι περισσότερες αναφορές σχετικά με την εναπόθεση σουλφιδίου του σιδήρου με εναπόθεση 3 ηλεκτροδίων, περιλαμβάνουν τη χρήση κορεσμένου ηλεκτροδίου καλομελίου (SCE) ως ηλεκτρόδιο αναφοράς και λευκόχρυσου ή χρυσού ως αντιηλεκτρόδιο. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ο άργυρος/χλωριούχος άργυρος ως ηλεκτρόδιο αναφοράς και η πλάκα γραφίτη ως αντιηλεκτρόδιο. Η επιλογή του ηλεκτροδίου αναφοράς επηρεάζει το δυναμικό εναπόθεσης. Εξ όσων γνωρίζουμε, δεν έχουν αναφερθεί πολλές εργασίες που να χρησιμοποιούν αυτόν τον συνδυασμό για εναπόθεση λεπτών υμενίων σουλφιδίου του σιδήρου με 3 ηλεκτρόδια. Για να αποφευχθεί η οξείδωση των εναποτεθειμένων μεμβρανών κατά την ξήρανση, επινοήθηκε η ακόλουθη τεχνική. Ένας ξηραντήρας με φρεσκοπαρασκευασμένο μέσο ξήρανσης καθαρίστηκε αρχικά με αέριο Argon. Το δείγμα που είχε εναποτεθεί εισήχθη στον ξηραντήρα, ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με αντλία κενού για την εξαγωγή του αργού και τη δημιουργία στεγανής σφράγισης γύρω από την άκρη του ξηραντήρα. Μετά την ξήρανση, τα εναποτεθειμένα υμένια ανοπτήθηκαν σε ατμόσφαιρα θείου στους 500°C για να σχηματιστεί η φάση του πυρίτη. Δύο διαφορετικές τεχνικές, που περιγράφονται στην επόμενη ενότητα, χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του αερίου θείου για τη διαδικασία θείωσης.

Έμφαση δίνεται στη σύγκριση της ποιότητας των υμενίων σιδηροπυρίτη που παράγονται με τη χρήση της συσκευής του Kipp για την παραγωγή αερίου υδρόθειου για τη διαδικασία θείωσης και όταν το στοιχειακό θείο θερμαίνεται στους 200°C για τον σχηματισμό ατμών θείου για τη θείωση

2.1 Θείωση

Διαδικασία 1: Παραγωγή H₂S με χρήση της συσκευής Kipps (Σχήμα 2)

Σε αυτή τη διαδικασία, επαρκείς ποσότητες σβώλων σουλφιδίου του σιδήρου τοποθετούνται στον κεντρικό βολβό μιας συσκευής Kipp. Στον άνω βολβό προστίθεται αραιό θειικό οξύ 2M με ανοιχτή τη βρύση μέχρι να γεμίσει πλήρως ο κάτω βολβός και να καλυφθούν τα σβώλοι θειούχου σιδήρου με οξύ. Στη συνέχεια κλείνεται η βρύση. Το οξύ θα αντιδράσει με το θειούχο σίδηρο για να παραχθεί αέριο υδρόθειο το οποίο γεμίζει τον μεσαίο βολβό. Η εξίσωση της αντίδρασης φαίνεται παρακάτω
$$\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$$
 Το αέριο υδρόθειο μπορεί να παραδοθεί για θείωση ανοίγοντας τη βρύση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Διαδικασία 2: Χρήση σκόνης θείου (Εικόνα 3)

Στη διαδικασία που απεικονίζεται στο Σχήμα 3, η σκόνη στοιχειακού θείου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμών θείου. 0,5 g σκόνης θείου χύθηκαν σε κεραμικό σκάφος και μαζί με το δείγμα FeS₂ τοποθετήθηκαν μέσα σε κλειστό σωλήνα από βοριοπυριτικό γυαλί. Πριν από αυτό, ο σωλήνας ξεπλύθηκε με Argon για 10 λεπτά για να απαλλαγεί από τυχόν οξυγόνο. Η θερμοκρασία της ζώνης θέρμανσης του δείγματος αυξήθηκε και διατηρήθηκε στους 500°C για 30 λεπτά. Η ζώνη θείου θερμάνθηκε και διατηρήθηκε στους 200°C. Η ύπαρξη ατμών θείου στο σωλήνα καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας είναι πολύ σημαντική για να διασφαλιστεί το συμπλήρωμα και η ενσωμάτωση του θείου στο φιλμ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απόπτωσης. Χρησιμοποιήθηκε ροή αργού για τη μεταφορά των ατμών θείου στο εσωτερικό του σωλήνα. Μετά τη διαδικασία θειώσεως, ο κλίβανος αφέθηκε να κρυώσει με φυσικό τρόπο χαμηλώνοντας τη θερμότητα, ενώ υπό τη ροή αργού.

2.2. Χαρακτηρισμός Αρχικά πραγματοποιήθηκε δομική ανάλυση για να προσδιοριστεί ποια τεχνική θειώσεως ήταν κατάλληλη για την επίτευξη μονοφασικών υμενίων πυρίτη. Το φιλμ πυρίτη με την υψηλότερη βαθμολογία καθαρότητας χαρακτηρίστηκε στη συνέχεια περαιτέρω με μετρήσεις οπτικής απορρόφησης, ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) και ανάλυση ενεργειακής διασποράς ακτίνων X (EDX)

3. Αποτελέσματα και συζητήσεις

3.1. Ανάλυση XRD

Τα δεδομένα XRD ελήφθησαν με περιθλασίμετρο ακτίνων-χ σκόνης PANalytical Empyrean Series 2 με ακτινοβολία Cu- α (1.5406 Å) στην περιοχή $2\theta = (10^\circ - 90^\circ)$. Το μηχάνημα λειτούργησε σε 40 mA και 45 kV για την ανάλυση φάσεων με τη γεωμετρία Bragg-Brentano. Ο συνολικός χρόνος ανάλυσης ανά δείγμα ήταν περίπου 35 λεπτά για βήμα σάρωσης 2θ $0,06^\circ$. Τα δεδομένα των ακτίνων X αναλύθηκαν με τη χρήση του λογισμικού HighScore Plus. Το περιθλασίγραμμα ακτίνων X που παρουσιάζεται στα Σχήματα 4(α)-(γ) συγκρίνει τη σύνθεση του πρόδρομου λεπτού υμενίου FeS όπως εναποτέθηκε και των υμενίων που θειώθηκαν με τις δύο διαφορετικές διαδικασίες που περιγράφηκαν. Στο Σχήμα 4(α) παρουσιάζεται το διάγραμμα περίθλασης που λαμβάνεται μετά την άμεση ηλεκτροαπόθεση του FeS₂ με ένωση. Το μοτίβο των εξέχουσων κορυφών στο περιθλασίγραμμα ταυτίστηκε με τις ενώσεις FeS (JCPDS Card No. 65- 9124) και Fe_{1-x}S (JCPDS Card No. 29-0726). Δεν υπήρχαν κορυφές που να αντιστοιχούν στη φάση του πυρίτη FeS₂. Το σχήμα 4(β) είχε σημαντικό αριθμό κορυφών που αντιστοιχούσαν στη φάση του πυρίτη FeS₂ (JCPDS No. 65-3321). Μερικές κορυφές με την ένδειξη "x" αντιστοιχούσαν σε φάσεις πρόσμιξης όπως FeS (JCPDS Card No. 65- 9124) και Fe_{1-x}S (JCPDS Card No. 29-0726). Η βαθμολογία για τη φάση του πυρίτη είναι 70, όπως φαίνεται στον κατάλογο προτύπων του πίνακα 1. Οι διαφορετικές αποδιδόμενες κορυφές που παρουσιάζονται στο σχήμα 4(γ) έγιναν με σύγκριση με τα πρότυπα JCPDS και ταίριαζαν απόλυτα με τη φάση πυρίτη FeS₂ (JCPDS αριθ. 65-3321).

Αυτές οι κρυσταλλικές κορυφές εμφανίζονται στις $2\theta = 28,4956^\circ, 33,0393^\circ, 37,07443^\circ, 40,7648^\circ, 47,4354^\circ, 56,2717^\circ, 59,0751^\circ, 61,6613^\circ, 64.2344^\circ$ και 79.0545° αντιστοιχούν σε ανακλάσεις από τα επίπεδα (111), (200), (210), (211), (220), (311), (222), (023), (321) και (420) αντίστοιχα. Η απουσία κορυφών προσμίξεων αποτελεί σαφή ένδειξη της υψηλής καθαρότητας του δείγματος. Η βαθμολογία για τη φάση του πυρίτη είναι 94, όπως φαίνεται στον κατάλογο προτύπων του πίνακα 2. Από τα περιθλασιγράμματα και τον κατάλογο προτύπων του πίνακα 1 και του πίνακα 2 είναι σαφές ότι η τεχνική θείωσης που περιγράφεται στη διαδικασία 2, δηλαδή με τη χρήση ατμών θείου, είναι προτιμότερη για την επίτευξη μονοφασικών υμενίων πυρίτη. Ο πίνακας 1 και ο πίνακας 2 αποτελούν τις ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με τις σχετικές ποσότητες των διαφόρων φάσεων που ανιχνεύονται στα λεπτά υμένια και την αντίστοιχη δομή τους, οι οποίες παράγονται από το λογισμικό High Score Plus. Η κρυσταλλική δομή του πυρίτη είναι κυβική [13]. Η παράμετρος του πλέγματος "α" εκτιμήθηκε από την παρακάτω εξίσωση όπου d και h, k και l είναι η απόσταση μεταξύ των επιπέδων και οι δείκτες Millar αντίστοιχα. Η τιμή που προέκυψε για τις παραμέτρους πλέγματος ήταν $5,42256 \text{ \AA}$. Το αποτέλεσμα αυτό είναι κοντά στην αναφερόμενη τιμή για τον πυρίτη. Το μέσο μέγεθος κόκκων που προσδιορίστηκε με τον τύπο του Scherrer ήταν $31,9861 \text{ nm}$, το οποίο είναι κοντά στις τιμές που αναφέρθηκαν από [14] [15].

3.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) Οι εικόνες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) και οι αναλύσεις ενεργειακής διασποράς ακτίνων X (EDX) λήφθηκαν με τη χρήση οργάνου Phenom με ονομαστική τάση δέσμης ηλεκτρονίων 15 kV αντίστοιχα. Η μικρογραφία SEM του λεπτού υμενίου FeS_2 (φάση πυρίτη) παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. Η μικρογραφία δείχνει μια συμπαγή μορφολογία με τραχιά επιφάνεια που αποτελείται από κρυσταλλίτες ακανόνιστου σχήματος και μεγέθους με καλά καθορισμένες ακμές, που καλύπτουν ολόκληρο το υπόστρωμα.

3.3. Ανάλυση σύνθεσης με φασματοσκοπία ακτίνων-X ενεργειακής διασποράς (EDX) Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το φάσμα EDAX και η στοιχειακή σύνθεση των υμενίων. Η ανάλυση EDAX του υμενίου συνάδει με το σχηματισμό FeS₂. Από τον πίνακα (ένθετο), παρατηρείται ότι τα υμένια έχουν καλή στοιχειομετρία.

3.4. Προσδιορισμός του οπτικού χάσματος ζώνης Ένα φασματόμετρο διπλής δέσμης υπεριώδους-ορατού της σειράς Cecil CE7500 που λειτουργεί στο όπου n είναι η συχνότητα, h είναι η σταθερά του Planck, k ισούται με μια σταθερά, ενώ η τιμή του n είναι είτε 1 για άμεσες μεταβάσεις είτε 4 για έμμεσες μεταβάσεις, αντίστοιχα. Η ενέργεια του χάσματος ζώνης λαμβάνεται με τη χάραξη μιας γραμμής καλύτερης προσαρμογής στο γράφημα $(\frac{1}{\alpha})^2$ n $A h \nu$ συναρτήσει του $h \nu$ και την παρέκταση της γραμμής ώστε να τέμνει τον ενεργειακό άξονα στο $(\frac{1}{\alpha})^2 = 0$ n $A h \nu =$. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται το χάσμα ζώνης του λεπτού υμενίου FeS₂. Ο γραμμικός χαρακτήρας του διαγράμματος επιβεβαιώνει την παρουσία άμεσης μετάβασης. Το εκτιμώμενο χάσμα ζώνης για το λεπτό υμένιο FeS₂ είναι 1,75 eV. Αυτή η σημαντική μετατόπιση του χάσματος ζώνης προς το μπλε (0,85 eV) από την τιμή 0,95 eV της μάζας, θα μπορούσε να αποδοθεί στο κβαντικό φαινόμενο μεγέθους που προκαλείται από τους νανοκρυσταλλίτες στο υμένιο [17] [18].

4. Συμπέρασμα Τα υμένια μονοφασικού σιδηροπυρίτη (FeS₂) εναποτέθηκαν με επιτυχία σε γυάλινα υποστρώματα με επικάλυψη ITO χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτροχημικό σύστημα 3 σταδίων ακολουθούμενο από θείωση. Οι αναλύσεις περίθλασης ακτίνων X επιβεβαίωσαν ότι η τεχνική θείωσης, η οποία περιελάμβανε θέρμανση στοιχειακού θείου στους 200°C για τη δημιουργία αερίου θείου, απέδωσε υμένια με μέγιστη κρυσταλλική τάξη και στοιχειομετρία. Δεν υπήρχαν διακριτές κορυφές που να αντιστοιχούν σε φάσεις πρόσμιξης. Η ανάλυση EDAX του υμενίου ήταν σύμφωνη με το σχηματισμό FeS₂. Η μικρογραφία SEM των υμενίων πυρίτη FeS₂ έδειξε μια συμπαγή μορφολογία με τραχιά επιφάνεια αποτελούμενη από κρυσταλλίτες ακανόνιστου σχήματος και μεγέθους με καλά καθορισμένες ακμές, που κάλυπτε ολόκληρο το υπόστρωμα. Μετρήσεις οπτικής απορρόφησης αποκάλυψαν την ύπαρξη άμεσης μετάβασης με εκτιμώμενο χάσμα ζώνης 1,75 eV.

Όλα τα αποτελέσματα από τις τεχνικές χαρακτηρισμού δείχνουν ότι η διαδικασία σύνθεσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, παρήγαγε μονοφασικά λεπτά

υμένια σιδηροπυρίτη (FeS_2), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως απορροφητικά υλικά σε ηλιακές κυψέλες. Οι μελλοντικές εργασίες θα περιλαμβάνουν περαιτέρω χαρακτηρισμό με τεχνικές όπως φωτοφωταύγεια, και μετρήσεις I-V, καθώς και μέτρηση της μεταβολής της συγκέντρωσης του $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ευχαριστίες Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν το Τμήμα Φυσικής και το Τμήμα Γεωεπιστημών, αμφότερα στο Πανεπιστήμιο της Γκάνα, Legon, για τη χρήση του εξοπλισμού περίθλασης ακτίνων X, του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης και του μηχανήματος ενεργειακής διασποράς ακτίνων X.

Συγκρούσεις συμφερόντων

Οι συγγραφείς δεν δηλώνουν σύγκρουση συμφερόντων σχετικά με τη δημοσίευση του παρόντος άρθρου.

Αναφορές

- [1] Wadia, C., Alivisatos, A.P. και Kammen, D.M. (2009). Η διαθεσιμότητα των υλικών διευρύνει την ευκαιρία για μεγάλης σε κλίμακα ανάπτυξη φωτοβολταϊκών. *Environmental Science & Technology*, 43, 2072-2077. <https://doi.org/10.1021/es8019534>
- [2] Spagnoli, D., Refson, K., Wright, K. και Gale, J.D. (2010). Θεωρητική Μελέτη λειτουργικών πυκνότητας της σχετικής σταθερότητας των πολυμορφών δισουλφιδίου του σιδήρου, πυρίτης και μαρκασίτης. *Physical Review B-Condensed Matter and Materials Physics*, 81, Άρθρο ID: 094106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.81.094106>
- [3] Schieck, R., Hartmann, A., Fiechter, S., Könenkamo, R. και Wetzel, H. (1990). Ηλεκτρικές ιδιότητες φυσικών και συνθετικών κρυστάλλων πυρίτη (FeS_2). *Journal of Materials Research*, 5, 1567-1572. <https://doi.org/10.1557/JMR.1990.1567>

- [4] Cabán-Acevedo, M., Faber, M.S., Tan, Y., Hamers, R.J. και Jin, S. (2012). Σύνθεση και ιδιότητες των ημιαγωγικών νανοσυρμάτων σιδηροπυρίτη (FeS₂). *Nano Letters*, 12, 1977-1982. <https://doi.org/10.1021/nl2045364>
- [5] Hibberd, C.J., Chassaing, E., Liu, W., Mitzi, D.B., Lincot, D. και Tiwari, A.N. (2010). Μη-κενές μέθοδοι για τον σχηματισμό λεπτών υμενίων των φωτοβολταϊκών απορροφητών Cu(In,Ga)(Se,S)₂. *Πρόοδος στα φωτοβολταϊκά: Έρευνα και Εφαρμογές*, 18, 434-452. <https://doi.org/10.1002/pip.914>.
- [6] Seefeld, S., Law, M., Puthussery, J., Berry, N. και Gibbs, M. (2010). Κολλοειδείς μελάνες νανοκρυστάλλων σιδηροπυρίτη (FeS₂) για φωτοβολταϊκά λεπτών υμενίων. *Journal of the American Chemical Society*, 133, 716-719. <https://doi.org/10.1021/ja1096368>
- [7] Kment, S., Kmentova, H., Sarkar, A., Soukup, R.J., Ianno, N.J., Sekora, D., Olejnicek, J., Ksirova, P., Krysa, J., Remes, Z. και Hubicka, Z. (2014). Μέθοδος καταλυόμενης από εποξική ρητίνη για λεπτά υμένια πυρίτη FeS₂ χωρίς τρύπες. *Journal of Alloys and Compounds*, 607, 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.04.060>
- [8] Thomas, B., Cibik, T., Hopfner, D.K., Ehlers, G., Fiechter, S. και Ellmer, K. (1998). Σχηματισμός δευτερογενών φάσεων θείου-σιδήρου κατά την ανάπτυξη λεπτών υμενίων FeS₂ με MOCVD. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 9, 61-64. <https://doi.org/10.1023/A:1008888801424>
- [9] Arico, A.S., Antonucci, V., Antonucci, P.L., Modica, E., Ferrara, S. και Giordano, N. (1992). Ηλεκτροαπόθεση και χαρακτηρισμός λεπτών υμενίων θειούχου σιδήρου. *Materials Letters*, 13, 12-17. [https://doi.org/10.1016/0167-577X\(92\)90169-K](https://doi.org/10.1016/0167-577X(92)90169-K)
- [10] Dong, Y.Z., Zheng, Y.F., Zhang, X.G., Duan, H., Sun, Y.F. και Chen, Y.H. (2005). Ηλεκτροαπόθεση λεπτών υμενίων FeS₂ (πυρίτης) και μελέτη του μηχανισμού ανάπτυξης. *Science in China Series E Technological Sciences*, 48, 601. <https://doi.org/10.1360/102004-32>

- [11] Wang, X., Wang, G., Chen, J., Zhu, X., Tian, J., Jiang, C., Zhang, Y., Liu, X. και Wang, R. (2013). Λεπτά υμένια πυρίτη που προετοιμάστηκαν για θερμικές μπαταρίες μέσω ηλεκτροαπόθεσης θειούχων υμενίων σιδήρου: Δομή και φυσικές ιδιότητες. *Materials Letters*, 110, 144-147. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.07.107>
- [12] Kawai, S., Yamazaki, R., Sobue, S., Okuno, E. και Ichimura, M. (2014). Ηλεκτροχημική απόθεση λεπτών υμενίων θειούχου σιδήρου και ετεροεπαφιακών διόδων με οξείδιο του ψευδαργύρου. *APL Materials*, 2, Άρθρο ID: 032110. <https://doi.org/10.1063/1.4869035>
- [13] Kao, C.T., Shi, J., Bin, Lee, H.W., Cheng, F.C., Liu, H.H., Lee, M.W., Chan, C.C., Huang, C.W., Lin, H.S., Wu, P.F., Chen, C.Y., Kao, M.C., Young, S.L. και Lin, C.L. (2016). Θερμοκρασιακά εξαρτώμενες επιδράσεις του λεπτού υμενίου FeS₂ που συντίθεται με θερμοχημικό ψεκασμό: Μια οπτική και φυσικοχημική διερεύνηση. *Journal of Thermal Spray Technology*, 25, 580-586. <https://doi.org/10.1007/s11666-016-0379-7>
- [14] Huang, L., Liu, Y. και Meng, L. (2009). Υμένια πυρίτη που αναπτύσσονται με θείωση προδρομικού σιδήρου διαφορετικής κρυσταλλικής κατάστασης. *Journal of Materials Science and Technology*, 25, 237-241.

Abstract

Single phase iron pyrite (FeS_2) films have been successfully deposited on ITO-coated glass substrates using a 3-electrode electrochemical system with graphite as the counter electrode and Ag/AgCl as the reference electrode. In this single-step electrodeposition, the FeS precursor thin film was directly electrodeposited on the conductive substrate from the electrolytic bath solution which contained $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ as an iron source, and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ as a sulfur source. The deposition was carried out potentiostatically at a constant potential of -0.9 V vs. Ag/AgCl at room temperature. The growth of the iron pyrite phase was achieved by annealing the as-deposited at 500°C for an hour in an ambient of sulfur to form the pyrite phase. For sulfurization, two different techniques, one using the Kipp's apparatus and a second, which involved heating elemental sulfur at 200°C , were used for the production of the sulfur gas. X-ray diffraction analyses of the sulfurized films showed that both sulfurization techniques appeared to form the pyrite phase, however, the second method yielded films with maximum crystalline order and stoichiometry with no discernable impurity peaks. Optical absorption measurements revealed the existence of a direct transition with an estimated band gap of 1.75 eV. SEM micrograph showed a compact morphology with a rough surface made up of crystallites of irregular shapes and sizes with well-defined edges, covering the entire substrate. EDAX analysis of the film was consistent with the formation of FeS_2 pyrite thin films.

1. Introduction

Iron sulfide (FeS_2) pyrite phase, is a semiconductor material with remarkable properties suitable for solar cell applications. It is non-toxic and its constituents iron and sulfur are considered as elements which are highly abundant with low cost of extraction and processing [1]. This makes the large scale production of these materials quite feasible and cost-effective. Pyrite is an absorber material that can be either an n or p type semiconductor depending on the type of dopant impurities [2]. Pyrite has electrical conductivity value which varies between 0.05 and 3.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) $^{-1}$ and carrier concentration which varies between 6.9×10^{15} and $5.4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ [3].

As a result of its moderate band gap of 0.95 eV and high optical absorption coefficient in the mid-infra-red range, Iron pyrite is considered as one of the most promising semiconductor materials to meet the pressing demand for low cost energy solutions. It has superior electrical properties with long minority carrier diffusion length of ~ 0.1 to $1.0\ \mu\text{m}$ and carrier mobility of about $360\ \text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ [4]. The advantage of having a high absorption coefficient is of particular importance since only about 40 nm of pyrite is required to absorb 90% of the incident light.

Pyrite devices demonstrate elevated quantum efficiencies (often $>90\%$) and photo-currents ($>40\ \text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$) but small photo-voltages (typically $<200\ \text{mV}$, $\sim 20\%$ of the band gap) [6]. The low photo-voltage value is liable for the restricted solar cell efficiency. Although theoretical investigation envisaged that greater than 18% efficiency should be achievable, in reality, pyrite based solar cells fabricated so far show evidence of less than 3% conversion efficiency [7]. The low photo-voltage is ascribed to bulk and surface vacancies that produce electronic states within the band gap [6]. The low efficiency is additionally thought to be caused by phase impurities like marcasite which is formed along side pyrite when grown from aqueous solutions [8]. This mixed phase of FeS_2 also deteriorates its photovoltaic performance.

Several techniques are available for the deposition of FeS_2 thin films. Among these techniques, electrochemical deposition offers several advantages such as the ability to control film thickness, composition, morphology, etc. by mainly controlling electrical parameters such as electrode voltage and current density which are easily adjustable. The technique is simple and economical because of its use of low cost apparatus, low operating temperature, and negligible waste materials.

Electrochemical deposition of iron sulfide is usually carried out by a two-stage process using direct compound electrodeposition followed by sulfurization to obtain the pyrite phase.

Sulfurization plays a significant role in achieving single phase pyrite films, it involves thermal treatment of the thin film in a sulfur rich atmosphere. The main purpose of this is to increase the sulfur concentration of the films and in this case fill the sulfur vacancies usually found in FeS systems. The choice of sulfurization technique is crucial in determining the level of purity of the iron pyrite thin film. Different sulfurization techniques would produce iron pyrite films with different levels of purity.

A few authors have studied and reported on various aspects of electrochemical deposition of iron sulfide thin films. Studied some structural properties of electrodeposited iron sulfide thin films on Platinum substrates. Dong et al. [10] studied the effect of sulfurization temperature on the structure of Ferrous sulfide (FeS) thin films deposited on indium-tin oxide (ITO) substrates by electrochemical deposition, whilst Wang et al. studied the effect of sulfurization time on the structure of electrodeposited iron sulfide thin films. Finally, Kawai et al. [12] studied the optimal conditions for the electrodeposition of iron sulfide thin films. Each of these authors used their own unique electrochemical factors such as pH, electrolyte concentration, deposition potential, and temperature and deposition time. In this work, the use of graphite as the counter electrode, the deposition potential vs. Ag/AgCl , the pH of the electrolyte and concentrations $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ used in preparing the electrolyte are unique to this work. We also devised our own technique for post deposition treatment of the as-deposited samples before sulfurization.

2. Materials and Methods

A conventional three-electrode setup consisting of an Ag/AgCl reference electrode, a graphite plate as a counter electrode, and an ITO-coated glass substrate as a working electrode which was employed for electrodeposition.

The electrolyte solution contained $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ as an iron source, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ was used as a sulfur source, H_2SO_4 was used to adjust the pH during the electrodeposition process.

In preparation of the electrolyte, equal volumes (~ 40 mL) of 0.24 M $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and 0.45 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ were mixed together in a 100 ml beaker. The resulting solution had a $\text{pH} = 3.73$ at room temperature. This pH was adjusted from 3.73 to 1.96 by adding a few drops of 2M H_2SO_4 , this was done to improve the adherence of the electrodeposits. The solution turned cloudy on adding the acid due to the formation of elemental sulfur. After about 20 to 30 minutes the electrolyte in the bath suddenly started to turn from cloudy to colorless as the sulfur precipitate had settled at the bottom of the beaker. Electrodeposition was carried out potentiostatically using an Echem ER466 potentiostat-galvanostat, at constant potential of -0.9 V vs. Ag/AgCl at room temperature ($30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$). A growth time of ~ 30 minutes was ensured during electrodeposition. Beyond this time the films become too thick. A diagram of the experimental set-up is shown in Figure 1.

Most reports on the deposition of iron sulfide by a 3-electrode deposition, involve the use of saturated calomel electrode (SCE) as the reference electrode and platinum or gold as the counter electrode.

However, in this work silver/silver chloride is used as the reference electrode and graphite plate as the counter electrode. The choice of the reference electrode affects the deposition potential. To the best of our knowledge not much work has been cited using this combination for a 3-electrode deposition of Iron sulfide thin films. In order to prevent the as-deposited films from oxidation, whilst being dried, the following technique was devised. A desiccator with freshly prepared drying agent was initially purged with Argon gas. The as-deposited sample was introduced into the desiccator which was connected to a vacuum pump to extract the argon and create a tight seal around the edge of the desiccator. After drying, the as-deposited films were annealed in a sulfur atmosphere at 500 °C to form the pyrite phase. Two different techniques, described in the next section, were used to produce the sulfur gas for the sulfurization process. Emphasis is on comparing the quality of iron pyrite films produced by using the Kipp's apparatus to generate hydrogen sulfide gas for the sulfurization process and when elemental sulfur is heated at 200 °C to form sulfur vapor for sulfurization.

2.1. Sulfurization

Procedure 1: Production of H₂S Using Kipp's Apparatus (Figure 2)

In this procedure, sufficient amounts of iron sulfide lumps are placed in the central bulb of a Kipp's apparatus. 2M dilute sulfuric acid is added to the upper bulb with the tap open until the lower bulb is completely filled and the Iron Sulfide lumps covered with acid. The tap is then closed. The acid will react with iron Sulfide to produce hydrogen sulfide gas which fills up the middle bulb. The reaction equation is shown below

$$\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$$

The hydrogen sulfide gas can be delivered for sulfurizing by opening the tap, as shown in Figure 1.

Procedure 2: Using sulfur powder (Figure 3)

In the procedure illustrated in Figure 3, elemental sulfur powder is used to produce the sulfur vapor. 0.5 g of sulfur powder was poured into a ceramic boat and together with the FeS₂ sample, placed inside an enclosed borosilicate glass tube. Prior to this, the tube was flushed with Argon for 10 minutes to get rid of any oxygen. The temperature of the sample heating zone was raised and held at 500 °C for 30 minutes. The Sulfur zone was heated and maintained at 200 °C. Having sulfur vapor in the tube throughout the process is very important to ensure the supplement and incorporation of sulfur into the film during the annealing process. An Argon flux was used to carry the sulfur vapor inside the tube.

After the sulfurization process, the furnace was allowed to cool down naturally by turning down the heat whilst under the flow of argon.

2.2. Characterization Structural analysis was first carried out to determine which sulfurization technique was suitable for achieving single phase pyrite films. The pyrite film with the highest purity score was then characterized further by optical absorbance measurements, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray (EDX) analysis

3. Results and Discussions

3.1. XRD Analysis

The XRD data was obtained by a PANalytical Empyrean Series 2 powder X-ray diffractometer with Cu- α radiation (1.5406 Å) in the range of $2\theta = (10^\circ - 90^\circ)$. The machine was operated at 40 mA and 45 kV for phase analysis using the Bragg-Brentano geometry. Total analysis time per samples was around 35 minutes for a 2θ scan step of 0.06° . The X-ray data was analyzed using the HighScore Plus software. The X-ray diffractogram shown in Figures 4(a)-(c) compares the composition of the as-deposited FeS precursor thin film and films sulfurized by the two different procedures described.

Figure 4(a) shows the diffraction pattern obtained after the direct compound electrodeposition of FeS₂. The pattern of prominent peaks in the diffractogram was matched to FeS (JCPDS Card No. 65- 9124) and Fe_{1-x}S (JCPDS Card No. 29-0726) compounds. There were no peaks corresponding to the FeS₂ pyrite phase. Figure 4(b) had a significant number of peaks indexed to the FeS₂ pyrite phase (JCPDS No. 65-3321). A few peaks labelled as 'x' were matched to impurity phases such as FeS (JCPDS Card No.65- 9124) and Fe_{1-x}S (JCPDS Card No. 29-0726). The score for the pyrite phase is 70 as shown in the pattern list in Table 1. The different assigned peaks shown in Figure 4(c) were made by comparing with JCPDS standards and they were a perfect match to FeS₂ pyrite phase (JCPDS No. 65-3321). These crystalline peaks occurring at $2\theta = 28.4956^\circ$, 33.0393° , 37.07443° , 40.7648° , 47.4354° , 56.2717° , 59.0751° , 61.6613° , 64.2344° and 79.0545° correspond to reflections from the (111), (200), (210), (211), (220), (311), (222), (023), (321) and (420) planes, respectively. The absence of any impurity peaks is a clear indication of the high purity of the sample. The score for the pyrite phase is 94 as shown in the pattern list in Table 2. It is clear from the diffractograms and the pattern list in Table 1 and Table 2 that the sulfurization technique described in procedure 2, that is, by using sulfur vapor is preferable for achieving single phase pyrite films.

Table 1 and Table 2 are the qualitative information on the relative amounts of different phases detected in the thin films and their corresponding structure, produced by the High Score Plus software. The crystal structure of pyrite is cubic [13].

The lattice parameter “a” was estimated from the equation below where d and h, k and l are inter-planar spacing and Millar indices respectively. The value obtained for the lattice parameters was 5.42256 Å. This result is close to the reported value for pyrite. The average grain size determined by Scherrer’s formula was 31.9861 nm which is close to values reported by [14] [15].

3.2. Scanning Electron Microscopy (SEM) Scanning electron microscopy (SEM) images and energy dispersive X-ray (EDX) analyses were obtained using a Phenom instrument with nominal electron beam voltages of 15 kV respectively. The SEM micrograph of FeS₂ (pyrite phase) thin film is shown in Figure 5. The micrograph shows a compact morphology with a rough surface made up of crystallites of irregular shapes and sizes with well-defined edges, covering the entire substrate. 3.3. Compositional Analysis by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) Figure 6 shows the EDAX spectrum and elemental composition of the films. The EDAX analysis of the film is consistent with the formation of FeS₂. From the table (inset), it can be observed that the films have good stoichiometry.

3.4. Determination of the Optical Band Gap A Cecil CE7500 series double beam UV-Visible spectrometer operating in the where ν is the frequency, h is the Planck’s constant, k equals a constant while the value of n is either 1 for direct transitions and 4 for indirect transitions, respectively. The band gap energy is obtained by plotting a line of best fit on the $(\frac{1}{2}n) \ln A h\nu$ versus $h\nu$ graph and extrapolating the line to intersect the energy axis at $(\frac{1}{2}n) \ln A h\nu = 0$. Figure 7 shows the band gap of the FeS₂ thin film. The linear nature of the plot confirms the presence of a direct transition. The estimated band gap for the FeS₂ thin film is 1.75 eV. This significant blue shift (0.85 eV) of the band gap from the bulk value of 0.95 eV, could be attributed to quantum size effect induced by the Nano crystallites in the film [17] [18]. 4. Conclusion Single phase iron pyrite (FeS₂) films have been successfully deposited on ITO-coated glass substrates using a 3-stage electrochemical system followed by sulfurization. X-ray diffraction analyses confirmed that the sulfurization technique which involved heating elemental sulfur at 200°C to generate sulfur gas, yielded films with maximum crystalline order and stoichiometry. There were no discernable peaks corresponding to impurity phases. EDAX analysis of the film was consistent with the formation of FeS₂. SEM micrograph of the FeS₂ pyrite films showed a compact morphology with a rough surface made up of crystallites of irregular shapes and sizes with well-defined edges, covering the entire substrate.

Optical absorption measurements revealed the existence of a direct transition with an estimated band gap of 1.75 eV. All the results from the characterization techniques indicate that the synthesis process used in this work, produced single phase iron pyrite (FeS₂) thin films, which can be used as absorber materials in solar cells. Future work would include further characterization by techniques such as Photoluminescence, and I-V measurements, and also measuring the variation of the concentration of FeSO₄·7H₂O with electrical conductivity. Acknowledgements The authors wish to acknowledge the Department of Physics, and the Department of Earth science, both in the University of Ghana, Legon, for the use of the X-ray diffraction equipment, scanning electron microscope and the energy dispersive x-ray machine.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

References

- [1] Wadia, C., Alivisatos, A.P. and Kammen, D.M. (2009) Materials Availability Expands the Opportunity for Large-Scale Photovoltaics Deployment. *Environmental Science & Technology*, 43, 2072-2077. <https://doi.org/10.1021/es8019534>
- [2] Spagnoli, D., Refson, K., Wright, K. and Gale, J.D. (2010) Density Functional Theory Study of the Relative Stability of the Iron Disulfide Polymorphs Pyrite and Marcasite. *Physical Review B—Condensed Matter and Materials Physics*, 81, Article ID: 094106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.81.094106>
- [3] Schieck, R., Hartmann, A., Fiechter, S., Könenkamo, R. and Wetzel, H. (1990) Electrical Properties of Natural and Synthetic Pyrite (FeS₂) Crystals. *Journal of Materials Research*, 5, 1567-1572. <https://doi.org/10.1557/JMR.1990.1567>
- [4] Cabán-Acevedo, M., Faber, M.S., Tan, Y., Hamers, R.J. and Jin, S. (2012) Synthesis and Properties of Semiconducting Iron Pyrite (FeS₂) Nanowires. *Nano Letters*, 12, 1977-1982. <https://doi.org/10.1021/nl2045364>
- [5] Hibberd, C.J., Chassaing, E., Liu, W., Mitzi, D.B., Lincot, D. and Tiwari, A.N. (2010) Non-Vacuum Methods for Formation of Cu(In,Ga)(Se,S)₂ Thin Film Photovoltaic Absorbers. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 18, 434-452. <https://doi.org/10.1002/pip.914>

- [6] Seefeld, S., Law, M., Puthussery, J., Berry, N. and Gibbs, M. (2010) Colloidal Iron Pyrite (FeS₂) Nanocrystal Inks for Thin-Film Photovoltaics. *Journal of the American Chemical Society*, 133, 716-719. <https://doi.org/10.1021/ja1096368>
- [7] Kment, S., Kmentova, H., Sarkar, A., Soukup, R.J., Ianno, N.J., Sekora, D., Olejnicek, J., Ksirova, P., Krysa, J., Remes, Z. and Hubicka, Z. (2014) Epoxy Catalyzed Sol-Gel Method for Pinhole-Free Pyrite FeS₂ Thin Films. *Journal of Alloys and Compounds*, 607, 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.04.060>
- [8] Thomas, B., Cibik, T., Hopfner, D.K., Ehlers, G., Fiechter, S. and Ellmer, K. (1998) Formation of Secondary Iron-Sulphur Phases in Growth of FeS₂ Thin Films by MOCVD. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 9, 61-64. <https://doi.org/10.1023/A:1008888801424>
- [9] Arico, A.S., Antonucci, V., Antonucci, P.L., Modica, E., Ferrara, S. and Giordano, N. (1992) Electrodeposition and Characterization of Iron Sulphide Thin Films. *Materials Letters*, 13, 12-17. [https://doi.org/10.1016/0167-577X\(92\)90169-K](https://doi.org/10.1016/0167-577X(92)90169-K)
- [10] Dong, Y.Z., Zheng, Y.F., Zhang, X.G., Duan, H., Sun, Y.F. and Chen, Y.H. (2005) FeS₂ (Pyrite) Electrodeposition Thin Films and Study of Growth Mechanism. *Science in China Series E Technological Sciences*, 48, 601. <https://doi.org/10.1360/102004-32>
- [11] Wang, X., Wang, G., Chen, J., Zhu, X., Tian, J., Jiang, C., Zhang, Y., Liu, X. and Wang, R. (2013) Pyrite Thin Films Prepared for Thermal Batteries via Sulfuring Electrodeposited Iron Sulfide Films: Structure and Physical Properties. *Materials Letters*, 110, 144-147. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.07.107>
- [12] Kawai, S., Yamazaki, R., Sobue, S., Okuno, E. and Ichimura, M. (2014) Electrochemical Deposition of Iron Sulfide Thin Films and Heterojunction Diodes with Zinc Oxide. *APL Materials*, 2, Article ID: 032110. <https://doi.org/10.1063/1.4869035>
- [13] Kao, C.T., Shi, J., Bin, Lee, H.W., Cheng, F.C., Liu, H.H., Lee, M.W., Chan, C.C., Huang, C.W., Lin, H.S., Wu, P.F., Chen, C.Y., Kao, M.C., Young, S.L. and Lin, C.L. (2016) Temperature-Dependent Effects of FeS₂ Thin Film Synthesized by Thermochemical Spraying: An Optical and Physicochemical Investigation. *Journal of Thermal Spray Technology*, 25, 580-586. <https://doi.org/10.1007/s11666-016-0379-7>

[14] Huang, L., Liu, Y. and Meng, L. (2009) Pyrite Films Grown by Sulfurizing Precursive Iron of Different Crystallizing Status. *Journal of Materials Science and Technology*, 25, 237-241.

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Το τεχνικό κείμενο περιγράφει την εναπόθεση και τον χαρακτηρισμό μονοφασικών υμενίων σιδηροπυρίτη (FeS_2) για μελλοντικές εφαρμογές σε ηλιακές κυψέλες. Προκειμένου να εναποθέσουν το πρόδρομο λεπτό υμένιο FeS σε γυάλινα υποστρώματα με επικάλυψη ITO, οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν μια ηλεκτροχημική διάταξη 3 ηλεκτροδίων με τον γραφίτη να χρησιμεύει ως αντιηλεκτρόδιο και το Ag/AgCl να λειτουργεί ως ηλεκτρόδιο αναφοράς. Η εναπόθεση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου και σε σταθερό δυναμικό $-0,9 \text{ V}$ έναντι Ag/AgCl . Με την ανόπτηση του υμενίου κατά την εναπόθεση σε θερμοκρασία 500 βαθμών Κελσίου επί μία ώρα σε ατμόσφαιρα που περιέχει θείο, κατέστη δυνατή η προώθηση της ανάπτυξης της φάσης του σιδηροπυρίτη.

Η θείωση επιτεύχθηκε με τη χρήση μιας συσκευής Kipp σε μια περίπτωση και με τη θέρμανση στοιχειακού θείου σε μια άλλη. Και οι δύο προσεγγίσεις ήταν επιτυχείς. Η ανάλυση με τη χρήση της περίθλασης ακτίνων X (XRD) έδειξε ότι και οι δύο διαδικασίες οδήγησαν στην παραγωγή της φάσης του πυρίτη. Ωστόσο, η δεύτερη μέθοδος παρήγαγε υμένια που είχαν βελτιωμένη κρυσταλλική τάξη και στοιχειομετρία και δεν υπήρχαν διακριτές κορυφές προσμίξεων σε αυτά τα υμένια. Οι παρατηρήσεις της οπτικής απορρόφησης έδειξαν μια άμεση μετάβαση που είχε εκτιμώμενο χάσμα ζώνης $1,75 \text{ eV}$. Οι εικόνες που ελήφθησαν με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) αποκάλυψαν μια συμπαγή μορφολογία που κάλυπτε ολόκληρο το υπόστρωμα και διέθετε μια τραχιά επιφάνεια που αποτελούνταν από κρυσταλλίτες διαφόρων σχημάτων και μεγεθών. Μια έρευνα με τη χρήση ενεργειακά διασκορπισμένων ακτίνων-X (EDX) έδειξε ότι είχαν σχηματιστεί λεπτά στρώματα πυρίτη FeS_2 .

Οι συγγραφείς/επιστήμονες εξέτασαν την πιθανότητα χρήσης του σιδηροπυρίτη ως ημιαγωγικού υλικού για χρήση σε εφαρμογές ηλιακών κυψελών λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων αυτού του ορυκτού, οι οποίες περιλαμβάνουν την αφθονία, το χαμηλό κόστος και το μέτριο χάσμα ζώνης. Επέστησαν επίσης την προσοχή στις δυσκολίες που συνδέονται με την ανάπτυξη ηλιακών κυψελών με βάση τον πυρίτη που έχουν υψηλή απόδοση, όπως η ύπαρξη χαμηλής φωτοτάσης και η ύπαρξη ακαθαρσιών και κενών θέσεων. Η μέθοδος ηλεκτροχημικής εναπόθεσης επιλέχθηκε λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει στον έλεγχο των ιδιοτήτων των υμενίων, καθώς και της ευκολίας χρήσης και της οικονομικής αποδοτικότητας.

Γενικά, το κείμενο προσφέρει μια ολοκληρωμένη και σε βάθος επεξήγηση της πειραματικής διάταξης, της διαδικασίας εναπόθεσης, των τεχνικών θειώσεως και των μεθόδων χαρακτηρισμού που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση λεπτών υμενίων σιδηροπυρίτη.

Εκτός από την υπογράμμιση της σημασίας των διαδικασιών θείωσης για την παραγωγή υμενίων πυρίτη υψηλής καθαρότητας, τα ευρήματα υποδεικνύουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του σιδηροπυρίτη ως ημιαγωγικού υλικού για την ανάπτυξη ενεργειακών λύσεων χαμηλού κόστους.

Πριν ξεκινήσω τη διαδικασία της μετάφρασης, διάβασα το επιστημονικό άρθρο που επέλεξα πολλές φορές και προσεκτικά και να το εξέτασα σε βάθος. Έλεγα τις πληροφορίες καθώς και την απόδοση που επιλέχθηκε εκάστοτε με βάση τους κανόνες της αγγλικής γραμματικής. Στην συνέχεια προχώρησα στη μετάφραση του με την βοήθεια διάφορων λεξικών ώστε να είμαι βέβαια ότι η απόδοση θα ήταν όσο το δυνατόν ακριβής και σωστή, εστιάζοντας περεταίρω στα πιο σημαντικά στοιχεία και στις πιο ενδιαφέρουσες λεπτομέρειες. Σύμφωνα με το σκεπτικό του Jean Delisle ένας μεταφραστής πρέπει να έχει πλήρη κατανόηση των γραμματικών κανόνων της γλωσσικής πηγής, προκειμένου να μεταφέρει με ακρίβεια το νόημα. Αυτό ήταν και το σκεπτικό που επέλεξα να ακολουθήσω

Σύμφωνα με τον Juan Sager, "η μετάφραση ασχολείται με τη γλώσσα στο πλαίσιο της χρήσης της, ενώ η ορολογία ασχολείται με τη γλώσσα στο πλαίσιο ενός εννοιολογικού συστήματος".

Ως εκ τούτου, στην αρχή ήταν πολύ δύσκολο και χρονοβόρο λόγω της φύσης του κειμένου πηγή να διαβάσω καθώς και να κατανοήσω διάφορα στοιχεία και παραγράφους του άρθρου. Αυτό συνέβαινε επειδή το κείμενο περιείχε τη δική του μοναδική γλώσσα και φρασεολογία, καθώς και έντονη και εξειδικευμένη ορολογία γεγονός που το καθιστούσε ιδιαίτερα δύσκολο.

Το σιδηροπυριτικό είναι συντομογραφία του χημικού όρου "FeS₂", που σημαίνει σιδηροπυριτικό άλας. Είναι πιθανό να μην γνωρίζουν όλοι τη σωστή μετάφραση αυτού του όρου. Ο όρος σιδηροπυρίτης μπορεί να συντομογραφηθεί ως "FeS₂", που σημαίνει τη συντομογραφία.

Οι όροι "ηλεκτροχημικό σύστημα", "αντιηλεκτρόδιο", "ηλεκτρόδιο αναφοράς" και "ηλεκτροαπόθεση" αναφέρονται σε συγκεκριμένες μεθοδολογίες και διαδικασίες που σχετίζονται με την ηλεκτροχημική εναπόθεση. Είναι πιθανό ότι ένας αναγνώστης που δεν έχει γνώσεις στον τομέα αυτό δεν θα κατανοήσει το νόημα αυτών των όρων.

Η στοιχειομετρία, οι "κορυφές προσμίξεων", το "χάσμα ζώνης" και η "συγκέντρωση φορέων" είναι όλες φράσεις που αναφέρονται σε ιδέες που χρησιμοποιούνται στους τομείς της επιστήμης των υλικών και της ηλεκτρονικής. Είναι πολύ πιθανό ότι θα χρειαστεί μια επεξήγηση αυτών των όρων προκειμένου να κατανοήσετε σε βάθος τους όρους αυτούς.

Οι φράσεις "ανόπτηση", "θείωση", "περίθλαση ακτίνων X", "μικρογραφία SEM" και "ανάλυση EDAX" αφορούν μια σειρά από διαδικασίες και τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην επιστημονική έρευνα. Ανόπτηση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από το σημείο τήξης του.

Είναι πιθανό το ευρύ κοινό να μην είναι εξοικειωμένο με αυτή την ορολογία- η φράση "πλάκα γραφίτη" αναφέρεται σε μια πλάκα γραφίτη που χρησιμοποιείται ως αντιηλεκτρόδιο. Η λέξη "γραφίτης" μπορεί να είναι οικεία σε ορισμένους ανθρώπους, αλλά η προσθήκη της λέξης "πλάκα" μπορεί να τους αφήσει να ξύνουν το κεφάλι τους.

Το "FeSO₄·7H₂O" είναι η χημική συντομογραφία για τον ηπτάνυδρο θεικό σίδηρο, ο οποίος λειτουργεί ως παροχή σιδήρου στο ηλεκτροχημικό σύστημα. Το όνομα αυτής της ένωσης είναι επίσης η χημική συντομογραφία. Όταν η συντομογραφία μεταφράζεται σε πλήρεις προτάσεις, ο αναγνώστης μπορεί να δυσκολευτεί να κατανοήσει τι πραγματικά σημαίνει η συντομογραφία.

Στη διαδικασία της ηλεκτροαπόθεσης, το θεικό οξύ, του οποίου η χημική συντομογραφία είναι "H₂SO₄", μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει το pH του διαλύματος, το οποίο είναι ένα από τα βήματα της διαδικασίας. Επιπλέον, το οξύ αυτό τίθεται σε χρήση. Και πάλι, μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί η κυριολεκτική μετάφραση της συντομογραφίας.

Η ανάλυση περίθλασης ακτίνων X είναι μια ιατρική τεχνική που εξετάζει τις εσωτερικές δομές και ανιχνεύει τις παραμορφώσεις για να διασφαλίσει την ορθότητα. Χρησιμοποιείται για τη διάγνωση και την αξιολόγηση ασθενειών με τη χρήση ακτίνων X στην ακτινογραφία.

Η περίθλαση ακτίνων X είναι μια μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση κρυσταλλικών υλικών, τη δημιουργία διακριτών μοτίβων περίθλασης και την ανακάλυψη προσμίξεων και παρατυπιών στο υλικό. Η γεωμετρία Bragg-Brentano είναι μία από αυτές τις μεθόδους.

Η ακτινοβολία Cu-K είναι μια συγκεκριμένη σειρά ακτίνων X που παράγεται από χαλκό και χρησιμοποιείται για την εξέταση κρυσταλλικών δομών. Ο συμβολισμός "2 = (10 - 90)" αντιπροσωπεύει τη μέτρηση της γωνίας 2 εντός ενός συγκεκριμένου εύρους.

Αυτό που εννοείται με τον όρο "λογισμικό HighScore Plus" αναφέρεται απλώς ως "λογισμικό HighScore Plus".

Τα γυάλινα υποστρώματα με επικάλυψη ITO αναφέρονται στη βιομηχανία αποκλειστικά ως "γυάλινα υποστρώματα με επικάλυψη ITO".

Λόγω του πολύ εξειδικευμένου λεξιλογίου και των περίπλοκων εννοιών που εμπλέκονται, η μετάφραση τεχνικού του κειμένου μπορεί να είναι γεμάτη με πολλές προκλήσεις.

Ακολουθούν ορισμένες γενικές δυσκολίες που αντιμετώπισα:

1. Ειδική Ορολογία και Φρασεολογία: Οι επιστημονικές έρευνες όπως είναι λογικό περιλαμβάνουν εξειδικευμένη ορολογία και φρασεολογία, η οποία μπορεί να έχει ή να μην έχει ακριβή αντιστοιχία στη γλώσσα στην οποία μεταφράζεται. Προκειμένου να μεταφραστούν αποτελεσματικά αυτές οι φράσεις, οι μεταφραστές πρέπει να είναι καλά εξοικειωμένοι με το αντικείμενο και να έχουν πρόσβαση σε λεξικά σύγχρονα και άλλες πηγές που είναι ειδικές για τον τομέα. Ίσως τα online λεξικά να μπορούν να θεωρηθούν πιο έμπιστα σε αυτές τις περιπτώσεις καθώς ενημερώνονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι ένα χειροπιαστό λεξικό.

2. Επιστημονικές Έννοιες: τα τεχνικά κείμενα περιέχουν μερικές φορές περίπλοκες επιστημονικές ή μηχανολογικές έννοιες που μπορεί να είναι δύσκολο να κατανοηθούν και να αποδοθούν σε άλλη γλώσσα. Για να είναι κάποια επιτυχημένη ως μεταφράστρια, πρέπει να έχει καλή κατανόηση του αντικειμένου, καθώς και αρίστη γνώση της γλώσσας στόχος ώστε να είναι σαφής και ακριβής στις δύσκολες εννοιές.

3. Επικαιρότητα: Η τεχνολογία και η επιστήμη εξελίσσονται ραγδαία, επομένως η μεταφράστρια πρέπει να είναι ενήμερη για τις τελευταίες εξελίξεις και να μπορεί να αναγνωρίζει και να χρησιμοποιεί την τρέχουσα ορολογία. Αυτό δημιούργησε για εμένα μια σειρά από προκλήσεις, καθώς έπρεπε να παραμένω συνεχώς ενημερωμένη σε έναν τομέα που δεν είχα καμία απολύτως πρωτότερη γνώση καθώς και για τις επιστημονικές εξελίξεις όσο πραγματοποιούσα τη μετάφραση.

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες τακτικές που χρησιμοποίησα για να ξεπεράσω τα εμπόδια αυτά:

Αρχικά, προσέγγισα την τεχνική ορολογία του αρχικού κειμένου με αυστηρή ανάλυση και προσαρμογή των όρων, ενώ ταυτόχρονα εντόπισα τους κατάλληλους αντίστοιχους όρους στη γλώσσα προορισμού. Αυτή η διαδικασία συνέβαλε καθοριστικά στη δημιουργία ενός συνεκτικού γλωσσικού πλαισίου που επιτρέπει την εύκολη κατανόηση και αποδοχή του κειμένου από τους αναγνώστες της τελικής μετάφρασης. Επιπλέον προχώρησα σε σύγκριση της ορολογίας που επέλεξα με την ορολογία που χρησιμοποιήθηκε από ορισμένους ερευνητές σε διδακτορικές διατριβές και διπλωματικές εργασίες για να βεβαιωθώ για την ορθότητα της κρίσης και των επίλογων μου.

Επιπλέον, διεξήγαγα εκτενή μελέτη για το συγκεκριμένο ειδικό θέμα και απέκτησα εμπειρία στη γλώσσα που χρησιμοποιείται στο πρωτότυπο κείμενο. Η συνεχής ενημέρωση και εκπαίδευση στις νέες εξελίξεις και στην ορολογία που αφορούν το περιεχόμενο του πρωτοτύπου κειμένου ήταν καθοριστική ώστε να έχω επίκαιρες γνώσεις. Επιπλέον, η συμμετοχή σε διαδικτυακά σεμινάρια καθώς και η παρακολούθηση κάποιων ντοκιμαντέρ που οι θεματικές τους ήταν κοντά με αυτό του πρωτοτύπου κειμένου συνέβαλε στην βελτίωση των γλωσσικών και τεχνικών δεξιοτήτων μου.

Για να διασφαλίσω την ακρίβεια και τη συνέπεια της μετάφρασης, αξιοποίησα επαγγελματικά και online λεξικά και άλλες αξιόπιστες πηγές.

Επιπλέον, μελέτησα ορισμένες διδακτορικές διατριβές και διπλωματικές εργασίας κοντά στο θέμα του πρωτοτύπου κειμένου και έτσι απέκτησα περαιτέρω εμπειρία και ενημέρωση σχετικά με τις εξελίξεις στον τομέα των φωτοβολταϊκών

Κατά την επιμέλεια του μεταφρασμένου κειμένου, έδωσα βάση κυρίως στην εξασφάλιση της ακρίβειας καθώς και της συνέπειας αλλά της κατανοητότητας του. Αυτή η προσέγγιση ήταν ουσιαστική για την παραγωγή μιας μετάφρασης υψηλού επιπέδου, ενώ η χρήση μέσων διόρθωσης συνέβαλε στην αποτροπή οποιωνδήποτε αποκλίσεων.

Συνοψίζοντας, η μετάφραση τεχνικών κειμένων απαιτεί εξοικείωση με το αντικείμενο, γλωσσικές ικανότητες και προσεκτική προσέγγιση στη λεπτομέρεια. Έτσι διασφαλίζεται η απόδοση του πρωτοτύπου κειμένου με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και συνέπεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γιώργος, Κ. Δ. (2000). Θεωρία και πράξη της μετάφρασης (Πρώτη έκδοση). Αθήνα: Διαλός.
- [2] Νενοπούλου-Δρόσου, Τ. (2001). Περί ισοδυναμίας στη μετάφραση (Πρώτη έκδοση). Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- [3] Κεραμίδας, Σ. (2015). Ζητήματα ορολογίας στην τεχνική μετάφραση (Πρώτη έκδοση). Αθήνα: Διαυλος.
- [4] Κελανδριάς, Ι. Π. (2016). Λειτουργική διδακτική της μετάφρασης (Πρώτη έκδοση). Αθήνα: Διαυλος.
- [5] Τσίγκου, Μ. (2012). Γλωσσολογία και μετάφραση (Πρώτη έκδοση). Αθήνα: Διαυλος.
- [6] Τσίγκου, Μ. (2019). Γλωσσική ποικιλία - Ορισμός και διαστάσεις (Πρώτη έκδοση). Αθήνα: Διαλός.
- [7] Πανταζής, Α. Ν. (2002). Νέο Αγγλο-Ελληνικό Λεξικό Τεχνικών Όρων (Πρώτη έκδοση). Αθήνα: Καστανιώτης.
- [8] Ευσταθίου, Κ. Η. (1998). Αγγλοελληνικό λεξικό χημικών και συγγενών με τη χημεία όρων (Πρώτη έκδοση). Αθήνα: ΕΚΠΑ.
- [9] Sager, J. C. (1994). Language engineering and translation (Πρώτη έκδοση). Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.
- [10] Delisle, J. (2003). La traduction raisonnée, Manuel d'initiation à la traduction professionnelle de l'anglais vers le français (Pédagogie de la traduction) (2η έκδοση). Οττάβα: Univ of Ottawa Press.
- [11] European Union. (n.d.). InterActive Terminology for Europe. Ανακτήθηκε Απρίλιος 2023, από <https://iate.europa.eu/>
- [12] Linguee. (n.d.). Ανακτήθηκε Απρίλιος 2023, από <https://www.linguee.com/>
- [13] Glose. (n.d.). Ανακτήθηκε Απρίλιος 2023, από <https://glose.com/>

[14]Ελληνικό Ινστιτούτο Ασφάλειας στην Εργασία. (n.d.). Ανακτήθηκε Απρίλιος 2023, από <https://www.elinyae.gr/ilektroniko-lexiko>

[15] Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. (n.d.). Αγγλοελληνικό Λεξικό Τεχνικών Όρων Σε Θέματα Πολιτικού Μηχανικού [Online λεξικό]. Scribd. Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 2024, από <https://www.scribd.com/document/398163270/Αγγλοελληνικό-Λεξικό-Τεχνικών-Όρων-Σε-Θέματα-Πολιτικού-Μηχανικού>

[16] Κυριαζούδης, Κ. (2015). Ανάπτυξη και Χαρακτηρισμός Λεπτών Υμενίων Οργανικών Φωτοβολταϊκών Διατάξεων Μικρών Μορίων – Βελτιστοποίηση Ενεργού Στρώματος και Μελέτη Επίδρασης Ρυθμιστικών Στρωμάτων Ανόδου στα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Διατάξεων. Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ΠΜΣ Φυσική και Τεχνολογία Υλικών.

[17] Μωυσής, Δ., Κατσαρός, Γ., Τόλης, Μ., & Στεργιόπουλος, Φ. (2011). Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων. Θεσσαλονίκη: ΤΕΕ/ΤΚΜ.

[18] Τούντας, Μ. (2018). Μελέτη μοριακών υλικών για εφαρμογή σε οργανικές φωτοβολταϊκές και φωτονικές διατάξεις. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Τομέας Φυσικής.

