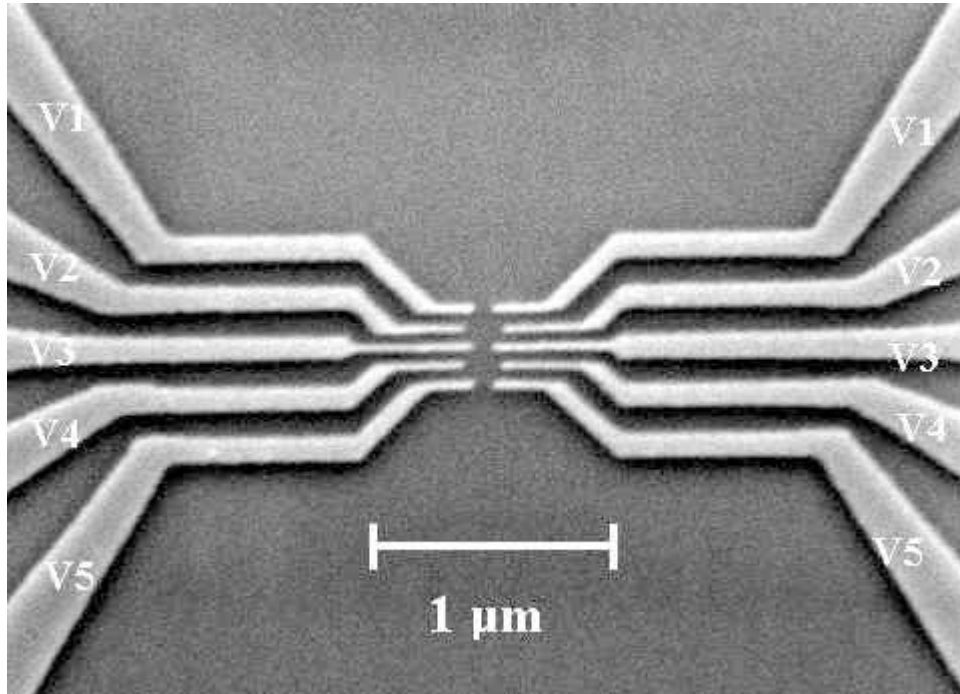




**3^η ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ
ΑΜΟΡΦΑ ΚΡΑΜΑΤΑ
ΚΑΙ ΝΑΝΟΔΟΜΗΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ**

Διδάσκων: κ. Σιγάλας

«Κβαντικές Τελείες»

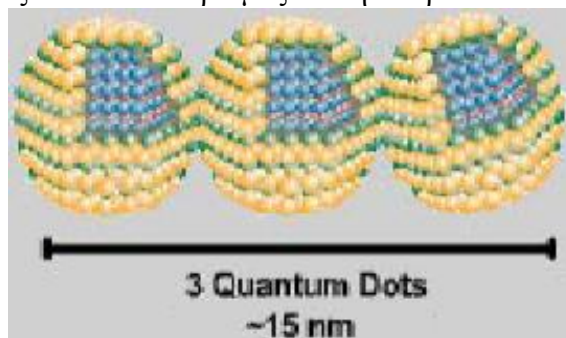


Μυστηρίδου Εμμανουέλα (AM 861)

Τετάρτη 10 Νοεμβρίου 2010

Κβαντικές Τελείες

Οι κβαντικές τελείες είναι ανόργανοι ημιαγώγιμοι νανοκρύσταλλοι κατασκευασμένοι από ανόργανα υλικά 2-10nm, μέγεθος το οποίο είναι μικρότερο από το μήκος της εξιτονικής ακτίνας Bohr. Το μέγεθος και το σχήμα αυτών των δομών, και ως συνέπεια ο αριθμός των ηλεκτρονίων που περιέχουν, μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια. Το πιο συνηθισμένο σχήμα είναι το σφαιρικό, στο οποίο είναι και πιο εύκολος ο υπολογισμός της εξίσωσης του Schrodinger και μοιάζουν σαν πραγματικά άτομα. Οι QDs μπορούν να περιέχουν ηλεκτρόνια ή ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών τα οποία, λόγω του μικρού μεγέθους των τελειών, περιορίζονται σε μηδενικές διαστάσεις. Λόγω αυτού του περιορισμού το υλικό σταματάει να έχει συνεχές φάσμα και παρουσιάζει γραμμικό ενεργειακό φάσμα.



Υπάρχουν δύο τύποι κβαντικών τελειών. Στις Τύπου I το ηλεκτρόνιο και η οπή είναι και τα δύο περιορισμένα στην κβαντική τελεία. Στις Τύπου II η οπή βρίσκεται στην τελεία ενώ το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στη μήτρα. Μπορούν να βρεθούν διάφορα είδη QDs Τύπου II που εξαρτώνται από το αντιστάθμισμα των ζωνών ανάμεσα στην τελεία και το υλικό της μήτρας όταν και τα δύο είναι ημιαγωγοί και η μήτρα έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από την κβαντική τελεία.

Τα πλεονεκτήματα των κβαντικών τελειών είναι τα εξής:

- έχουν ισχυρή αντίσταση στο φαινόμενο της φωτολευκανσης και στη χημική αποικοδόμηση σε σχέση με τις οργανικές χρωστικές,
- εκπέμπουν πολύ εντονότερη ακτινοβολία σε σχέση με άλλες χρωστικές, που αυξάνει το λόγο σήματος προς θόρυβο για την ολόσωμη απεικόνιση φθορισμού,
- έχουν την ικανότητα να εκπέμπουν φως ακόμα και μετά από μακροχρόνια διέγερση και
- έχουν ιδιαίτερα ευρύ φάσμα διέγερσης και εκπομπής, επιτρέποντας τη διέγερση διαφορετικών QDs με την ίδια δέσμη φωτός. Τα χαρακτηριστικά εκπομπής των QDs εξαρτώνται αποκλειστικά από το μέγεθός τους, όσο μεγαλύτερο είναι τόσο περισσότερη μετατόπιση προς το ερυθρό μέρος του φάσματος παρουσιάζει το μέγιστο εκπομπής μετατοπίζεται.

Κατά τη διέγερση φθορισμού, διεγείρονται οι κβαντικές τελείες με ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος και εκπέμπεται ακτινοβολία σε διάφορα χρώματα. Ο φθορισμός συσχετίζεται



άμεσα με τα ενεργειακά επίπεδα της QD. Οι μεγαλύτερες κβαντικές τελείες έχουν περισσότερα ενεργειακά επίπεδα που διαχωρίζονται από μικρότερα ενεργειακά διαστήματα. Αυτό επιτρέπει στην κβαντική τελεία να απορροφήσει φωτόνια που περιέχουν μικρότερη ενέργεια, δηλαδή εκείνα προς το ερυθρό άκρο του φάσματος. Ενώ μικρότερες QDs φθορίζουν προς το μπλε άκρο του φάσματος.

Για την κατασκευή των πυρήνων των QDs συνδυάζονται στοιχεία κυρίως των ομάδων II-VI, III-V και IV-IV. Το περίβλημα (shell) είναι μη οργανικό και είναι συνήθως ZnS. Στις βιολογικές εφαρμογές οι QDs έχουν και ένα εξωτερικό οργανικό περίβλημα (polymer coating), του οποίου η σύνθεση είναι ανάλογη με τις ιδιότητες που θέλουμε να έχει και στο οποίο ενώνονται βιοσυζυγείς ενώσεις του οργανισμού. Ο πυρήνας με τη βοήθεια του περιβλήματος είναι υπεύθυνος για τις οπτικές ιδιότητες των QDs. Το περίβλημα (shell) ενισχύει σημαντικά τη φωτεινότητα και συμβάλει στην σταθερότητα της κβαντικής κηλίδας (πρέπει να έχει μεγαλύτερο ενεργειακό χάσμα από τον πυρήνα). Το οργανικό περίβλημα (polymer coating) κάνει το νανοκρύσταλλο σταθερό και του προσδίδει τις επιθυμητές βιοχημικές ιδιότητες για κάθε εφαρμογή.

Τρόποι Παρασκευής των κβαντικών τελειών

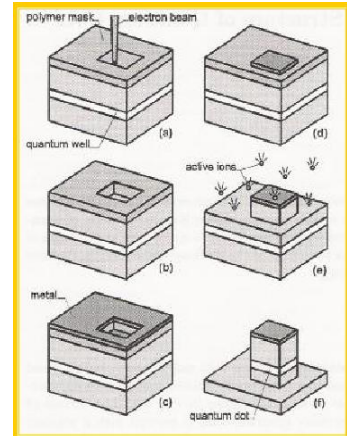
Οι κβαντικές τελείες μπορούν να παρασκευαστούν είτε με φυσικές είτε με χημικές μεθόδους.

Φυσικές μέθοδοι

1) ΧΑΡΑΞΗ

Για την παρασκευή κβαντικών τελειών με αυτή τη μέθοδο, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

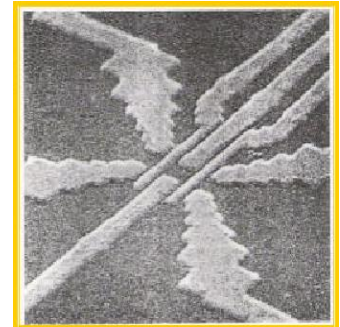
Αρχικά, η επιφάνεια του δείγματος, που περιέχει ένα ή περισσότερα κβαντικά πηγάδια, καλύπτεται με πολυμερική μάσκα και ακτινοβολείται εν μέρει με δέσμη ηλεκτρονίων ή ιόντων. Αφού αφαιρεθεί η μάσκα από τα τμήματα που έχουν εκτεθεί στην ακτινοβολία, όλη η επιφάνεια του δείγματος καλύπτεται με ένα λεπτό μεταλλικό στρώμα. Με την χρήση κατάλληλου διαλύματος, η πολυμερική ταινία και το προστατευτικό μεταλλικό στρώμα αφαιρούνται, εξασφαλίζοντας έτσι την καθαρή επιφάνεια του δοκιμίου. Στις περιοχές που έχουν ακτινοβοληθεί, το μεταλλικό στρώμα παραμένει. Έπειτα, πραγματοποιείται χημική χάραξη των τμημάτων που δεν καλύπτονται από τη μεταλλική μάσκα. Τέλος, δημιουργούνται λεπτές στήλες που περιέχουν τα κομμένα κομμάτια των κβαντικών πηγαδιών.



Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την παρασκευή κβαντικών τελειών μέσω της χάραξης είναι το GaAs. Η ευρύτερη χρήση του οφείλεται στο γεγονός ότι παράγει λεπτά και ομογενή κβαντικά πηγάδια.

2) ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη δημιουργία μικροσκοπικών ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του κβαντικού πηγαδιού. Με την εφαρμογή κατάλληλης διαφοράς δυναμικού στα ηλεκτρόδια παράγεται ένα χωρικά διαμορφωμένο ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο περιορίζει τα ηλεκτρόνια μέσα σε μια μικρή περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να περιορίζονται σε μικρές περιοχές. Επίσης, είναι εφικτή και η κατασκευή ενός ζευγαριού λεπτών και παράλληλων ηλεκτροδίων πάνω από το πηγάδι. Το χαμηλότερο ηλεκτρόδιο έχει ομοιόμορφα τοποθετημένες οπές, όπου και θα δημιουργηθούν οι τελείες. Όταν εφαρμοστεί τάση στο ζευγάρι των ηλεκτροδίων παρατηρείται αλλαγή στο μέγεθος της τελείας και στο βάθος του περιορισμένου δυναμικού. Επιπλέον, το βάθος του δυναμικού επηρεάζει τον αριθμό των περιορισμένων ηλεκτρονίων.



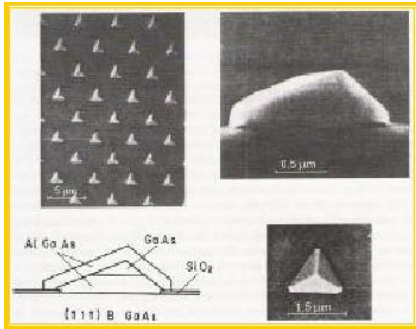
3) ΔΙΑΧΥΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΠΗΓΑΔΙ

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη χρήση ακτίνων laser μέσω των οποίων θερμαίνουμε το δείγμα. Ως μητρικό υλικό χρησιμοποιείται πυκνό κβαντικό πηγάδι από GaAs (3nm), το οποίο έχει παρασκευαστεί με τη μέθοδο επιταξίας μοριακής δέσμης (molecular beam epitaxy method). Το μητρικό υλικό τοποθετείται ανάμεσα σε ένα ζευγάρι φραγμάτων από πυκνό $Al_{0.35}Ga_{0.65}As$ διαστάσεων 20nm. Στην κορυφή τοποθετείται ένα στρώμα 10nm από πυκνό GaAs, το οποίο έχει καλυφθεί με 100nm Si_3Na . Το επίστρωμα του Si_3Na χρησιμεύει στην προστασία της επιφανείας από την οξείδωση ή την τήξη εξαιτίας των ακτίνων laser. Η διαμόρφωση του ενεργειακού χάσματος στο κβαντικό πηγάδι επιτυγχάνεται με τοπική θέρμανση του δείγματος χρησιμοποιώντας ακτίνες laser αργού ισχύος 5.5mW. Οι ακτίνες laser οδηγούνται κατά μήκος ενός ορθογωνίου περιγράμματος που περιβάλλει μια μη-φωτιζόμενη περιοχή με διάμετρο 300-1000 nm.

Στους 1000°C παρατηρείται γρήγορη διάχυση ατόμων Al και Ga ανάμεσα στο πηγάδι και στα φράγματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την τοπική διαμόρφωση του δείγματος, για παράδειγμα τη δημιουργία ενός φράγματος δυναμικού, το οποίο περιβάλλει το μη-φωτιζόμενο εσωτερικό του ορθογωνίου. Για μεγαλύτερες διαστάσεις του φωτιζόμενου ορθογωνίου, το δυναμικό που περιορίζει τα ηλεκτρόνια είναι ομαλό μέσα στην τελεία και απότομο κοντά στην ακμή.

4) ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Αυτή η μέθοδος συμβάλλει στη δημιουργία κβαντικών τελειών με επιλεκτική ανάπτυξη μιας ημιαγώγιμης ένωσης, η οποία έχει μικρό ενεργειακό χάσμα, στην επιφάνεια μιας δεύτερης ένωσης με μεγαλύτερο ενεργειακό χάσμα. Ο περιορισμός της ανάπτυξης σε επιλεγμένες περιοχές επιτυγχάνεται καλύπτοντας αυτές τις περιοχές με μάσκα και χαράσσοντας πάνω σε αυτές μικροσκοπικά τρίγωνα. Στην επιφάνεια που δεν είναι καλυμμένη με μάσκα, η ανάπτυξη πραγματοποιείται με τη μέθοδο MOCVD



(metal-organic chemical vapor deposition method) σε θερμοκρασία 700°C - 800°C. Οι κρύσταλλοι που σχηματίζονται έχουν τη μορφή τετραεδρικών πυραμίδων. Επιπλέον, όταν τα επίπεδα που κρυσταλλώνονται πρώτα είναι τα επίπεδα της ένωσης του υποστρώματος και η κορυφή της πυραμίδας αποτελείται από GaAs, τότε είναι πιθανό να δημιουργηθούν τελείες με μέγεθος περίπου 100nm.

5) ΑΥΤΟ-ΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί την χρήση μάσκας. Όταν η πλεγματική σταθερά του υποστρώματος και του υλικού που βρίσκεται υπό κρυστάλλωση διαφέρουν σημαντικά, το υλικό εναποθέτει παραμορφωμένες στοιβάδες που έχουν ίδια πλεγματική σταθερά με το υπόστρωμα. Όταν το κρίσιμο πάχος ξεπεραστεί, η στοιβάδα παραμορφώνεται σημαντικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την κατάρρευση της κατασκευής και την αυθόρμητη δημιουργία νησίδων με τυχαία κατανομή αλλά με συμμετρική μορφή και παρόμοια μεγέθη. Η μορφή και το μέσο μέγεθος των νησίδων εξαρτώνται από παράγοντες όπως η ένταση παραμόρφωσης της στοιβάδας, ο ρυθμός ανάπτυξης και η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η διαδικασία.

Η φάση μετάβασης από την επιταξιακή κατασκευή στην τυχαία διάταξη των νησίδων ονομάζεται Stranski-Krastanow μετάβαση. Οι κβαντικές τελείες που σχηματίζονται με την μετάβαση αυτή ονομάζονται αυτο-οργανωμένες τελείες. Τα μικρά μεγέθη των αυτο-οργανωμένων κβαντικών τελειών (διάμετροι της τάξης των 30 nm ή λιγότερο), η ομοιογένεια στη μορφή και στο μέγεθος σε μακροσκοπικό δοκίμιο, η τέλεια κρυσταλλική δομή και η αρκετά βολική διαδικασία ανάπτυξης (χωρίς να χρειάζεται η χρήση ηλεκτροδίων ή χάραξη) αποτελούν τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου.

Χημικές μέθοδοι

Οι συνήθεις τεχνικές για την προετοιμασία κβαντικών τελειών περιλαμβάνουν καθίζηση κολλοειδών σωματιδίων από ομογενές διάλυμα. Η καθίζηση οφείλεται στην ελεγχόμενη απελευθέρωση ιόντων ή στην εξαναγκασμένη υδρόλυση κατάλληλων πρόδρομων ενώσεων παρουσία κατάλληλων ουσιών. Αυτές οι ουσίες χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση των σωματιδίων και τον έλεγχο των διαστάσεων των σωματιδίων.

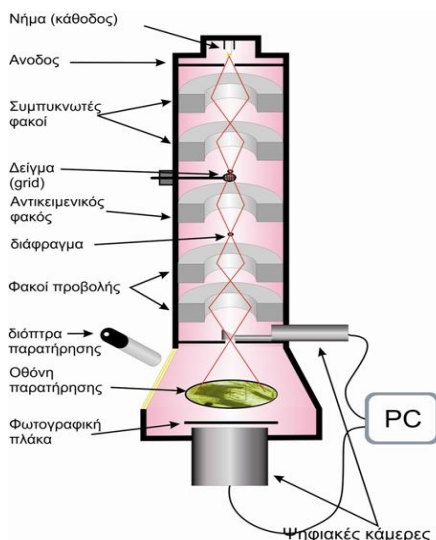
Η μεγάλη πρόκληση στην προετοιμασία των νανοσωματιδίων είναι ο έλεγχος του μεγέθους τους, του σχήματός τους καθώς και των ιδιοτήτων της επιφανείας τους. Για πολλές θεμελιώδεις μελέτες και εφαρμογές, είναι επιθυμητή η προετοιμασία σωματιδίων με μικρό μέγεθος και καλά ορισμένο σχήμα. Αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να επιτευχθούν εν μέρει μεταβάλλοντας τις διάφορες πειραματικές παραμέτρους, όπως η συγκέντρωση των αντιδρώντων, η θερμοκρασία αντίδρασης, η φύση του μέσου σταθεροποίησης και αντίδρασης.

Πολλά ημιαγώγιμα υλικά τύπου II-VI, όπως τα CdS, CdSe, ZnS, μπορούν να παρασκευαστούν χρησιμοποιώντας υγρές κολλοειδείς χημικές διαδικασίες. Τα σωματίδια μπορούν να βρίσκονται σε διαλύματα, σε γυαλιά ή σε πολυμερή. Για παράδειγμα, νανοσωματίδια από κολλοειδείς CdS παρασκευάζονται ελέγχοντας την ανάμειξη ιόντων Cd^{2+} με ιόντα S^{2-} παρουσία βασικών σταθεροποιητών.

Μια άλλη τεχνική είναι η τεχνική sol-gel (αραιώματος-πηκτής). Η τεχνική sol-gel χρησιμοποιείται συχνά για την προετοιμασία νανοσωματιδίων σε γυάλινο μέσο χρησιμοποιώντας πρόδρομες ουσίες και διαλύματα που περιέχουν κατάλληλα άλατα μετάλλων. Ουσιαστικά, υπάρχουν δύο φάσεις παρούσες σε αυτήν την τεχνική: α) ένα ομογενές διάλυμα και β) μία ελαστική, με μορφή πηκτώματος (gel), στερεά φάση. Το ομογενές διάλυμα με την πάροδο του χρόνου μετατρέπεται σε πήκτωμα, ενώ ο όγκος του παραμένει σταθερός. Επακόλουθη ξήρανση προκαλεί μετασχηματισμό του πηκτώματος με ανάλογη μείωση του όγκου, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την επιθυμητή φάση. Με τη διαδικασία sol-gel έχουν παρασκευαστεί νανοσωματίδια CdS σε πυριτικά γυαλιά που το μέγεθός τους ποικίλλει από 2 έως 10 nm.

Μέθοδοι χαρακτηρισμού των κβαντικών τελειών

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ (TEM)

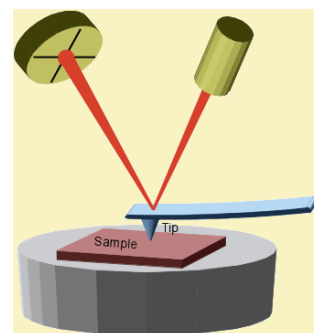


Σε αυτήν τη μέθοδο, μια δέσμη ηλεκτρονίων ομοιόμορφης πυκνότητας ρεύματος προσπίπτει στην επιφάνεια του εξεταζόμενου δείγματος, εστιάζεται πάνω σε αυτό και σκεδάζεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα ηλεκτρόνια που διαπερνούν το δείγμα προσπίπτουν πάνω σε φθορίζουσα οθόνη, η οποία βρίσκεται πίσω από το δείγμα. Στις φωτογραφίες που παράγονται παρατηρούνται κάποιες σκοτεινές περιοχές, οι οποίες αντιστοιχούν σε σημεία πάνω στο δείγμα με υψηλή πυκνότητα, παρεμποδίζοντας τα ηλεκτρόνια να περάσουν μέσα από το δείγμα. Έτσι, οι σκοτεινές αυτές κηλίδες δίνουν το περίγραμμα των συσσωματωμάτων της κβαντικής τελείας, στα σημεία που εμφανίζεται να έχει μεγαλύτερη πυκνότητα ατόμων και έτσι προσδιορίζεται το μέγεθος, ο αριθμός αλλά και το είδος των ατόμων που περιέχονται στη QD.

ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ (AFM)

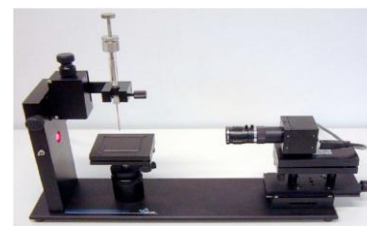
Με τη μέθοδο της μικροσκοπίας ατομικής δύναμης, πετυχαίνουμε διακριτική ικανότητα επί της επιφάνειας από Angstroms μέχρι μερικά μικρά του μέτρου και λαμβάνουμε εικόνες των ατόμων που βρίσκονται πάνω ή μέσα σε μια κβαντική τελεία. Η ακτίνα της ακίδας είναι της τάξης των 20 νανομέτρων.

Το μικροσκόπιο ατομικών δυνάμεων είναι ένα μικροσκόπιο υψηλής ευκρίνειας σάρωσης με χρήση ακίδας. Ένας εύκαμπτος βραχίονας με μια ακίδα στη μια άκρη, πραγματοποιεί παλινδρομική σάρωση της επιφάνειας του δείγματος και τα αποτελέσματα της σάρωσης αυτής περνούν μέσα από μια φωτοδίοδο και οδηγούνται στον ανιχνευτή, από όπου και εκτυπώνονται στην οθόνη ενός υπολογιστή. Από την παρατήρηση και την επεξεργασία των εικόνων που λαμβάνονται, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με το μέγεθος των νανοσωματιδίων, τη διασπορά τους και την τραχύτητα της επιφάνειας.



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΦΙΛΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το αν μια κβαντική τελεία είναι υδροφιλική ή όχι αντανακλάται στις τιμές της γωνίας επαφής που προκύπτουν, όταν μια σταγόνα υγρού (συνήθως νερού) διαβρέξει την επιφάνειά της. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση της συσκευής CAM 100, που απεικονίζεται δίπλα. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδική θέση και με τη χρήση σύριγγας στάζουμε μια σταγόνα υγρού πάνω σε αυτό. Με χρήση κατάλληλου φακού η εικόνα λαμβάνεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή όπου αποτυπώνονται τα αποτελέσματα και γίνεται η επεξεργασία αυτών.



Η σταγόνα του υγρού πέφτει κάθετα στο δείγμα και η μέτρηση της γωνίας επαφής πραγματοποιείται από την τομή της επαπτομένης της σταγόνας και του υποστρώματος. Μικρές γωνίες θ , σημαίνει ότι το υγρό διασπείρεται εύκολα στην επιφάνεια του στερεού, ενώ αντίθετα μεγάλες γωνίες θ σημαίνει χαμηλό ποσοστό διάβρεξης της στερεής επιφάνειας. Μάλιστα στην περίπτωση που η υγρή σταγόνα είναι το νερό, τότε μικρές γωνίες θ , χαρακτηρίζουν το στερεό υπόστρωμα ως υδρόφιλο, ενώ μεγάλες γωνίες θ , ως υδρόφοβο.



Εφαρμογές των κβαντικών τελειών

Οι μεγάλες κατηγορίες των εφαρμογών των κβαντικών τελειών είναι τρεις:

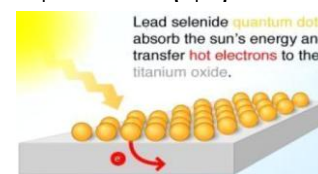
1. Εφαρμογές στην Οπτοηλεκτρονική
2. Εφαρμογές στη Βιολογία
3. Εφαρμογές στην Ιατρική

Οι κυριότερες εφαρμογές των QDs στην οπτοηλεκτρονική είναι η χρήση τους σε τρανζίστορ, σε λέιζερ, σε LED, σε έγχρωμες οθόνες και σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα λέιζερ με κβαντικές τελείες, εκτός από χαμηλής πυκνότητας ρεύματα και θερμοκρασιακή σταθερότητα, προσφέρουν ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων σε σχέση με τα υπόλοιπα λέιζερ. Όταν οι φορείς παγιδεύονται σε μια κβαντική τελεία η κίνησή τους περιορίζεται, σε αντίθεση με τα λέιζερ κβαντικών πηγαδιών όπου οι φορείς που αιχμαλωτίζονται μέσα στο πηγάδι είναι ελεύθεροι να κινούνται μέσα στο επίπεδο του πηγαδιού. Οι κβαντικές τελείες είναι ιδιαίτερος κατάλληλος για την κατασκευή πολύ μικρών λέιζερ και λέιζερ για χρήση σε δύσκολο ραδιενεργό περιβάλλον. Η σταθερή θέση του φορέα εμποδίζει τόσο τους φορείς σε διαφορετικές κβαντικές τελείες να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους, όσο και υποσύνολα κβαντικών τελειών να δράσουν ως ανεξάρτητα λέιζερ.

Επιπλέον, οι ρυθμιζόμενες με λέιζερ κβαντικές τελείες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κβαντική κρυπτογραφία, καθώς μπορούν αποτελεσματικά να παράγουν ένα φωτόνιο τη φορά.

Αξιοποιώντας τις QDs στα φωτοβολταϊκά, δημιουργούνται τρίτης γενιάς ηλιακά κύτταρα τα οποία είναι πιο φτηνά, απορροφούν περισσότερο φως και επομένως η αποδοτικότητα της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι μεγαλύτερη από αυτή των απλών ηλιακών κυττάρων. Φτάνει μέχρι και 60% σε αντίθεση με το 33%.

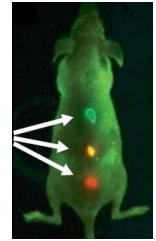


Σε πολλά ερευνητικά εργαστήρια αντικαθιστούν τα άτομα με κβαντικές τελείες για διάφορες εφαρμογές, και αυτό συμβαίνει λόγω της ευκολίας ελέγχου και χειρισμού των QDs από ότι ενός ατόμου ή ενός πυρήνα, και της δυσκολίας παραγωγής των συνθηκών που χρειάζονται για την χρήση πραγματικών ατόμων. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να εξεταστούν διαφορετικά άτομα του Περιοδικού Πίνακα χρησιμοποιώντας την ίδια κβαντική τελεία απλώς αλλάζοντας το εφαρμοζόμενο δυναμικό αντί να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά στοιχεία.

Στις Βιολογικές εφαρμογές, οι κβαντικές τελείες υπερταίρουν σε σχέση με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες φθορίζουσες ουσίες (οργανικές χρωστικές, πρωτεΐνες) επειδή έχουν καλύτερες ιδιότητες. Λόγω των πολύ μικρών μεγεθών και της μεγάλης διεισδυτικής τάσης, έχουν τη δυνατότητα να εισέλθουν μέσα στους ιστούς και στα κύτταρα με ευκολία.

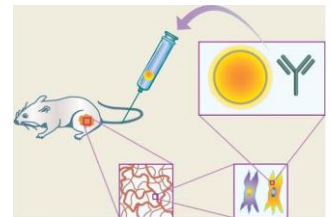
Οι κύριες Βιολογικές χρήσεις των ιστών των QDs είναι:

1. Κυτταρική επισήμανση, χρησιμοποιώντας ηλεκτρικές εκκενώσεις, electro-poration, ειδικά πεπτίδια (cell penetrating peptides), παράγοντες κυτταρικής διείσδυσης όπως Lipofectamine 2000 ή μικροένεση σε κύτταρα,
2. *In vivo* απεικόνιση βαθιά μέσα στο πειραματόζωο όπως για τον εντοπισμό λεμφατικών αδένων κατά την αφαίρεση καρκίνου μαστού,
3. Βιο-αναλυτικές δοκιμασίες DNA, πρωτεϊνών ή άλλων μακρομορίων ακόμη και για τη δημιουργία βιολογικών barcodes, χρησιμοποιώντας συνδυασμούς χρωμάτων,
4. Γρήγορη και ταυτόχρονη ανίχνευση πολλαπλών παθογόνων μικρο-οργανισμών και τοξινών,
5. Μεταφορά γονιδίων,
6. Εξερεύνηση του μορίου του DNA και του RNA-Γρήγορο τρέστ DNA,
7. Εξερεύνηση και απεικόνιση του νευρικού συστήματος,
8. Καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των μορίων και της βιολογίας του κυττάρου,
9. Οπτική κωδικοποίηση και υψηλής παραγωγικότητας ανάλυση γονιδίων και πρωτεϊνών,
10. Βιο-αισθητήρες.



Οι κβαντικές τελείες χρησιμοποιούνται επίσης και στην Ιατρική για:

1. Έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία του καρκίνου,
2. Ανίχνευση και καταστροφή όγκων,
3. Μεταφορά φαρμάκων για την αντιμετώπιση ασθενειών,
4. Ενίσχυση αντίθεσης φωτεινού-σκοτεινού πεδίου στην τομογραφία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR),
5. Διευκόλυνση των εγχειρήσεων.



Βιβλιογραφία

- [1] «Μελέτη Μεταβατικής Απορρόφησης σε Συστήματα Κβαντικών Τελειών που Εμφανίζουν Φαινόμενα Οπτικής Διαφάνειας», Μεταπτυχιακή Εργασία Ιωάννου Μαρίας, Επιβλέπων: Πασπαλάκης Εμμανουήλ, Τμήμα Επιστήμης των Υλικών Πανεπιστημίου Πατρών, 2007.
- [2] «Κβαντικές Κηλίδες & Εφαρμογές στη Βιο-», Διαφάνειες Τσιγαρίδα Στέργιου, Επιβλέπουσα: Μ. Μακροπούλου.
- [3] «Κβαντικός Έλεγχος Διπλών Κβαντικών Τελειών Ενός & Δύο Ηλεκτρονίων», Διπλωματική Εργασία Κοσιώνη Σπύρου, Επιβλέπων: Α. Τερζής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2008.
- [4] «Εφαρμογές των Νανοϋλικών σε Ημιαγωγούς και Υπεραγωγούς», Διπλωματική Εργασία Φράγκου Βασιλικής, Επιβλέπων: Δ. Μανωλάκος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
- [5] «Παρασκευή και Χαρακτηρισμός Ενισχυτικών Νανοδομών και Πολυμερών Σύνθετων Υλικών βασισμένων στους Νανοσωλήνες Άνθρακα», Μεταπτυχιακή Εργασία Καστάνη Δημήτρη, Επιβλέποντες: Κ. Γαλιώτης, Ι. Καλλίτσης, Κ. Παπαγγελής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2008.
- [6] «Σύνθεση, Χαρακτηρισμός και Μελέτη των Οπτοηλεκτρονικών Νέων Ημιαγωγών Νανοδομημένων Υλικών», Μεταπτυχιακή Εργασία Τσαμούρτζη Κωνσταντίνης, Επιβλέπων: Τρικαλίτης Παντελής, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Ηρακλείου, 2008.
- [7] «Quantum Dots : Science and Applications», James McDaniel, Nanochemistry, Physics 3500.
- [8] «Mechanical Properties of Nanostructured Materials», Bing Q. Han, Enrique J. Lavernia and Farghalli A. Mohamed, “Rev.Adv.Mater.Sci.”, Vol. 9, p.p. 1-16, 2005.
- [9] «Quantum Dots for Molecular Pathology», Lawrence D. True, Xiaohu Gao, “Journal of Molecular Diagnostics”, Vol. 9, No. 1 p.p. 20-24, February 2007.
- [10] «Quantum Dot Applications to Neuroscience: New Tools for Probing Neurons and Glia», Smita Pathak, Elizabeth Cao, Marie C. Davidson, Sungho Jin, Gabriel A. Silva, “The Journal of Neuroscience”, Vol. 26, No. 7, p.p. 1893-1895, 15 February 2006.