

## ΕΠΙΔΡΑΣΗ 12 ...ΣΤΗ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗ: Κβαντικές τελείες

Τις τελευταίες δεκαετίες, η *νανοτεχνολογία* αποτελεί κύριο πεδίο έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης. Γενικά μιλώντας, μπορούμε να ορίσουμε ότι αντικείμενο αυτού του πεδίου είναι τα υλικά με διαστάσεις έως περίπου 100 nm που μπορούν να χρησιμεύσουν ως δομικοί λίθοι για συσκευές με μοναδικές φυσικές ιδιότητες. Η επίδραση της νανοτεχνολογίας στην οικονομία είναι ήδη πολύ σημαντική. Παραδείγματος χάριν, η αυξημένη ζήτηση για πολύ μικρές ψηφιακές ηλεκτρονικές συσκευές έχει οδηγήσει στη σχεδίαση ακόμα μικρότερων και πιο ισχυρών μικροεπεξεργαστών. Ωστόσο, με τις τρέχουσες τεχνολογίες κατασκευής, υπάρχει ένα άνω όριο στην πυκνότητα των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που μπορούν να τοποθετηθούν σε ολοκληρωμένα κυκλώματα (τσιπ) που είναι φτιαγμένα από πυρίτιο. Καθώς η δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων αυξάνεται με τον αριθμό των εξαρτημάτων πάνω σε ένα τσιπ, έπεται ότι τα τσιπ και οι συσκευές που τα χρησιμοποιούν θα πρέπει να γίνουν μεγαλύτερα προκειμένου να αυξάνεται περαιτέρω η επεξεργαστική ισχύς. Ένας τρόπος για να παρακάμψουμε αυτό το πρόβλημα είναι η κατασκευή συσκευών από εξαρτήματα νανομεγέθους.

Τα συνήθη μέταλλα άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα διότι, παρουσία ενός ηλεκτρικού πεδίου, τα ηλεκτρόνια αποκτούν ευκινησία καθώς διεγείρονται σε γειτονικά κενά ενεργειακά επίπεδα. Αγνοώντας όλες τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, μπορούμε να χειριστούμε τα ηλεκτρόνια σαν να καταλαμβάνουν ενεργειακά επίπεδα χαρακτηριστικά ανεξάρτητων σωματιδίων σε ένα τριδιάστατο κουτί. Επειδή το κουτί έχει μακροσκοπικές διαστάσεις, η εξ. 7Δ.10 ( $E_{n+1} - E_n = (2n+1)h^2/8mL^2$ ) συνεπάγεται ότι η απόσταση μεταξύ γειτονικών επιπέδων είναι τόσο μικρή που τα επίπεδα σχηματίζουν πρακτικά ένα συνεχές. Συνεπώς, μπορούμε να αγνοήσουμε την επίδραση της κβάντωσης της ενέργειας στις ιδιότητες του υλικού. Ωστόσο, για έναν *νανοκρύσταλλο*, μια μικρή ομάδα ατόμων με διαστάσεις σε κλίμακα νανομέτρων, η εξ. 7Δ.10 προβλέπει ότι η κβάντωση της ενέργειας είναι σημαντική και επηρεάζει τις ιδιότητες του δείγματος.

Η κβάντωση της ενέργειας στους νανοκρυστάλλους έχει σπουδαίες τεχνολογικές εφαρμογές όταν το υλικό είναι ένας ημιαγωγός, στους οποίους η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ή με την έκθεση σε φως.

Δηλαδή, η μεταφορά ενέργειας σε έναν ημιαγωγό αυξάνει την κινητικότητα των ηλεκτρονίων στο υλικό. Οι τριδιάστατοι νανοκρύσταλλοι από ημιαγωγό υλικά που περιέχουν  $10^5$  άτομα ονομάζονται **κβαντικές τελείες**. Μπορούν να σχηματιστούν είτε σε διάλυμα είτε με εναπόθεση ατόμων πάνω σε μια επιφάνεια, με το μέγεθος του νανοκρυστάλλου να εξαρτάται από τις λεπτομέρειες της σύνθεσης.

Η ενέργεια που απαιτείται για να προκύψουν ηλεκτρονικές μεταβάσεις από χαμηλότερα σε υψηλότερα ενεργειακά επίπεδα και έτσι να αυξηθεί η κινητικότητα των ηλεκτρονίων και να υπάρξει ηλεκτρική αγωγιμότητα, εξαρτάται από το μέγεθος της κβαντικής τελείας. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες μεγάλων, μακροσκοπικών δειγμάτων ημιαγωγών δεν μπορούν να ρυθμιστούν με αυτόν τον τρόπο. Σε πολλές κβαντικές τελείες, όπως οι σχεδόν σφαιρικοί νανοκρύσταλλοι του σεληνιούχου καδμίου (CdSe), ευκίνητα ηλεκτρόνια μπορούν να διεγερθούν με απορρόφηση ορατού φωτός, με το μήκος κύματος διεγερσης να μειώνεται καθώς η ακτίνα της κβαντικής τελείας μειώνεται. Δηλαδή, όσο το μέγεθος της κβαντικής τελείας μεταβάλλεται, μεταβάλλεται και το χρώμα του υλικού. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε αιωρήματα κβαντικών τελειών CdSe διαφορετικών μεγεθών.

Οι ειδικές οπτικές ιδιότητες των κβαντικών τελειών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα. Όπως η δημιουργία ενός ζεύγους ηλεκτρονίου-οπής απαιτεί απορρόφηση φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος, έτσι και η επανένωση του ζεύγους καταλήγει στην εκπομπή φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος. Η ιδιότητα αυτή αποτελεί τη βάση για τη χρήση των κβαντικών τελειών στην παρατήρηση των βιολογικών κυττάρων εν λειτουργία. Παραδείγματος χάριν, μια κβαντική τελεία CdSe μπορεί να τροποποιηθεί με ομοιοπολική πρόσδεση ενός οργανικού διαχωριστικού στην επιφάνειά της. Όταν το άλλο άκρο του διαχωριστικού αντιδρά με ένα κυτταρικό συστατικό, όπως μια πρωτεΐνη, ένα νουκλεϊκό οξύ ή μια μεμβράνη, το κύτταρο ιχνηθετείται από μια κβαντική τελεία που εκπέμπει φως. Η χωρική κατανομή της έντασης εκπομπής και συνεπώς του ιχνηθετημένου μορίου μπορούν τότε να μετρηθούν με ένα μικροσκόπιο. Αν και η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα με οργανικά μόρια ως ιχνηθέτες, οι κβαντικές τελείες είναι πιο σταθερές και εκπέμπουν πιο έντονο φως.