

Synthesis and characterization of PbSe Quantum Wires, Multipods, Quantum Rods and Cubes

סינתזה ואפיון של מוטות וכבלים קוונטיים רב-תרמילים וקוביות מ PbSe

ננו-גבישים של PbSe הכוללים כבלים ומוטות קוונטיים, חיבורים ותרמילים וקוביות, יוצרו בתמיסה קולואידית בנוכחות של ממס אלקיל-דיאמין בטמפרטורות שבין 10-117 צלסיוס. המורפולוגיה של הננו-גבישים נשלטה על ידי המכניזם המתאם מבנה משקל מולקולרי של הממס. מכניזם זה הותאם על ידי הטמפרטורה ומשך הראקציה. חוטים גבישיים בקוטר של כ 20 ננומטר ובארך של 1-5 מיקרומטר נוצרו בטמפרטורות הנמוכות ביותר. כאשר מוטות קוונטיים וקוביות קוונטיות נוצרו בטמפרטורות גבוהות יותר.

התכונות הפיזיקליות של ננו-גבישים מוליכים למחצה מושפעות מאד מגודלם וצורתם. טכנולוגיות שפותחו בדורות האחרונים הביאו לייצור ננו גבישים הנקראים נקודות קוונטיות (Quantum Dots) כאשר איכות פני השטח ניתנת לשליטה. התכונות הפיזיקליות של גבישים אלו נחקרו לעומק, בעיקר בהקשר למגבלת הגודל. נושא ההשפעה של הצורה על איכות פני השטח נחקר פחות באינטנסיביות. למרות שקיימת התנהגות צפויה של מעבר מגבישים ללא ממד עובי ליצירה של כבלים קוונטיים בעלי ממד אחד. תופעה זאת מאפשרת שימוש בגבישים אלו בננו-טכנולוגיות נוספות כגון לייזרים אופטו-אלקטרוניקה, אחסון זיכרון ועוד.

השליטה בתצורה של חומרים מוליכים למחצה בוצעה עד כה על ידי שימוש במסגרות או משטחים נושאים. בוצעו ניסיונות בודדים בלבד לגדל מוטות או כבלים קוונטיים ללא שימוש במשטח נושא או מגביל על ידי שימוש למשל בזרעי גידול ננומטריים מזהב או כספית או בשימוש בתמיסות ייחודיות לשליטה בתצורת הגביש. חוקרים אלו הציעו כי השליטה על הצורה הושגה על ידי ראגנטים מייצבים שהוצמדו לפני השטח של הגבישים הגדלים. במשך הזמן פותחו שיטות לגידול הגבישים בתמיסות קולואידיות בהן ניתן לשלוט על תצורת הגביש על ידי שליטה בגידול בחלק מהממדים במרחב. לאחרונה דווחו מספר חוקרים על שיטה סינתטית ייחודית לגידול מבוקר של גבישים או מוטות קוונטיים מ PbS על ידי שימוש בתמיסה הטרוגנית המורכבת משני ממסים (הקסה-דציל-אמין ו טרי-אוקטיל-אמין) שאינם מומסים זה בזה ושימוש בתנאי טמפרטורה שונים לשתי הפאזות. כמו כן הוצע הממס אתילן-דיאמין לייצור ננו-כבלים מ PbS.

ננו גבישים מ PbSe יוצרים עניין רב עקב תכונותיהם הייחודיות. הקבוע האלקטרוני הגבוה שלהם (24.0) והמסה האלקטרונית האפקטיבית הנמוכה שלהם יוצרת עירור ברדיוס בוהר רחב יחסית, 46 ננומטר שהוא פי שמונה מזה המופק בגבישים מבוססי CdSe. בנוסף לכך צפויים גבישים אלו להיות בעלי חוסר ליניאריות בספיגה ובפיזור ברמות של עד פי 1000 מגבישים מבוססי CdSe. מאפיינים אלו מראים אפשרות שימוש בגבישים מסוג זה במכשור אופטו-אלקטרוני, במכשור ספקטרוני מבוסס אינפרה-אדום ובאפליקציות בטלקומוניקציה. לאחרונה בוצע סנתוז של גבישים כדוריים בפיזור קטן של שינויים בגודל כונון של רוחב פס הקרוב לטווח האינפרה אדום (0.9-2.1 eV). כמו דווח על סינתזה קולואידית של גבישי PbSe עם פני שטח פאסיביים וגודל ממוצע בין 2.5 ל 7 ננומטר.

Quantum States of Confined Carriers in Very Thin Al_xGa_{1-x}As-GaAs-Al_xGa_{1-x}As Heterostructures

מצבים קוואנטיים של מוליכים תחומים במבנים הטרוגניים דקים מאד

רמות קוונטיות המשויות להגבלה של מוליכים בתוך מבנים הטרוגניים דקים של אלומיניום/גאליום ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) נצפו עד לשמונה מעברי עירור הקשורים לאלקטרונים כרוכים ולמצבי כריכה של החללים. המבנה ההטרוגני מתנהג כבאר פוטנציאליים ריבועית פשוטה בעומק של בערך 0.88 דלתא E עבור אלקטרונים מוקפים ו 0.12 דלתא E עבור חללים מוקפים. כאשר דלתא E הינו ההפרש בפערי האנרגיה של המוליך למחצה.

המחקר מתייחס לאחת הבעיות המרכזיות במכניקה קוואנטית שבהן חלקיק מוגבל לבאר פוטנציאליים ריבועית חד ממדית. המחקר מציג מצבים ותצפיות של אלקטרונים קשורים בבאות פוטנציאל ריבועיות הנוצרים בשכבות GaAs בין לוחות $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. הרמות נמדדות על ידי מדידת הבליעה האופטית של השכבה המרכזית של GaAs. הנוכחות של מגוון מצבים קשורים מביא למספר מצבי עירור בשכבה העליונה. המחקר בוצע על מגוון של מבנים הטרוגניים בעלי שכבה מרכזית בעובי של 70 אנגסטרומ. המבנים מייצרים שני סוגי בארות פוטנציאל אחד לאלקטרונים ואחד לחורים עצמם. המחקר מתאפשר על ידי שני פיתוחים מרכזיים. הראשון יכולת פיתוח גבישים מלאכותי על שכבות דקות והשני מציאת כימיקלים מתאימים להורדת כיסוי ה GaAs ללא פגיעה בגבישים הגדלים על המשטח. באמצעות טכנולוגית הגידול שפותחה התאפשר דיוק רב בגידול מבנים הטרוגניים רב שכבתיים. התנאים המקובלים הינם ואקום לפני הגידול קטן מ 10^{-9} מ"מ. בזמן הגידול הוואקום נשמר על בערך 10^{-7} מ"מ וטמפרטורה של 600 צלסיוס. קצב הגידול כ 1 מיקרומטר לשעה. לצורך הגדלת הבליעה האופטית בוצע גידול של חמישים שכבות במבנה יחיד. שכבות ה GaAs מופרדות על ידי שכבות $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ בעובי ממוצע של 250 אנגסטרומ. החדירה של שכבות הגידול לשכבות הנושאות הינה לעומק של כ 25 אנגסטרומ כך שהמחקר הינו למעשה על באר אחת. איור מס. 1 מציג את רמות האנרגיה המחושבות של חלקיק בתוך באר פוטנציאל ריבועית סימטרית בעומק של V_0 . החישוב בוצע בתחילה על ידי סדרת משוואות כאשר ההנחה הינה שהחלקיק מוגבל לשכבה בעובי L_z על ידי באר פוטנציאליים אינסופית. במציאות עומק באר הפוטנציאל הוא כמובן סופי והמשוואות שהוצגו אינן מספקות לניתוחו כמותי של המידע המתקבל בניסוי. בוצע ניתוח ממוחשב לעומקי באר פוטנציאליים שונים. והנתונים מוצגים בגרף. איור מס. 2 מציג ספקטרומים של בליעה אופייניים עבור המבנה שבו נעשה שימוש בניסוי בטמפרטורה של 2 K. המשטחים החיצוניים הוסרו למניעת אפקטים שמפריעים למדידה. שכבות בעובי $L_z = 210, 140$ אנגסטרומ מראות מבנה בליעה מפותח הרבה מעבר לשכבת הנושא של GaAs. בנוסף הפיק ברמת הפליטה עובר לרמות אנרגיה גבוהות יותר כאשר עובי שכבות הגידול יורד מתחת ל 500 אנגסטרומ.