



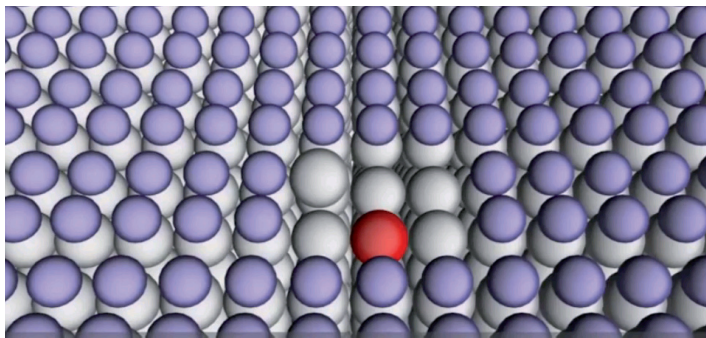
טרנזיסטור חד-אטומי הוא הטרנזיסטור המושלם

בהישג חסר תקדים בתחום המיקרו-הנדסה, פיסיקאים הצליחו לייצר טרנזיסטור פעיל המורכב מאטום יחיד הממוקם בתוך גביש סיליקון ♦ ועוד חדשות בתחום הננו-אלקטרוניקה: חוקרים מבריטניה גילו פסים אלקטרוניים על גבי פני השטח של יריעות החומר גרפן, פסים הגורמים לחומר לתפקד כמוליך-על

ערך עבור היצרנים בנוגע לפעילותו של התקן מסוג זה, מסביר אחד מהחוקרים.

מצב אלקטרוני ננומטרי חדש בגרפן

חוקרים מבריטניה גילו פסים אלקטרוניים על גבי פני השטח של יריעות החומר גרפן, פסים הגורמים לחומר לתפקד כמוליך-על. זו הפעם הראשונה שפסים אלו נצפו על גבי הגרפן, וסביר להניח כי הממצא יהיה בעל השלכות משמעותיות על ניצול חומר חדשני זה הנחשב כבעל תפקיד חשוב ביותר בעתידה של הננוטכנולוגיה.



רצועות מוליך-על במשטחי גרפן (איור: המרכז לננוטכנולוגיה בלונדון)

גרפן הינו חומר המורכב מיריעה יחידה של אטומי פחמן בעובי של אטום אחד, והוא מצוי בסיומים המתקבלים מעפרון גרפיט. בגרפן טמונות תכונות פיסיקליות בלתי-רגילות ועל-כן הוא נחשב כבעל פוטנציאל טכנולוגי רב, לדוגמה, בפיתוח של אלקטרודות שקופות עבור צגי מסך שטוחים, בטרנזיסטורים מהירים ויעילים אנרגטית ועבור חומרים מרוכבים חזקים במיוחד. חוקרים בכל רחבי העולם מקדישים כעת מאמצים מרובים בשביל להבין ולשלוט בתכונותיו של חומר זה.

חוקרים מהמרכז הלונדוני לננו-טכנולוגיה (LCN) הוסיפו כמות עודפת של אלקטרונים לפני-השטח של הגרפן באמצעות העברת אטומי המתכת סידן מתחת למשטח. באופן רגיל, היינו מצפים כי אלקטרונים עודפים אלו יפוזרו באופן אחיד ע"ג משטח הגרפן, בדיוק כפי ששמן מתפזר על פני מים. אולם, באמצעות שימוש בצידוד מתקדם מסוג מיקרוסקופ מנהור סורק (STM), המסוגל לספק תמונה של אטומים פרטניים, החוקרים מצאו כי האלקטרונים העודפים מתארגנים באופן עצמאי למעין פסים ננומטריים מעל פני המשטח. התנהגות בלתי-צפויה זו מדגימה כי לאלקטרונים יכולים להיות "חיים" משל עצמם, שאינם קשורים ישירות לאטומים שמתחתיהם.

ממצאים אלה מעוררים השראה לעבר כיוונים חדשים רבים, הן עבור המדע והן עבור הטכנולוגיה. לדוגמה, הם יכולים לשמש כשיטה חדשה לתפעול ולקידוד מידע, כאשר הקוד הבינארי של אפס/אחד מוחלף בפסים הממוקמים מצפון לדרום וממזרח למערב, בהתאמה. ממצאי המחקר פורסמו בכתב-העת המדעי Nature Communications.

בהישג חסר תקדים בתחום המיקרו-הנדסה, פיסיקאים הצליחו לייצר טרנזיסטור פעיל, המורכב מאטום יחיד, הממוקם בתוך גביש סיליקון.

הד"ר לכימיה משה נחמני מוסר, כי ההתקן האלקטרוני הזעיר, שעל אודותיו נודע עתה במאמר שפורסם בכתב העת המדעי Nature Nanotechnology, עושה שימוש באטום זרחן יחיד הממוקם בין אלקטרודות ושערי בקרה אלקטרוסטטיים אטומיים כרכיב הפעיל שלו.

דיוק אטומי חסר תקדים זה עשוי להוביל לפיתוחה של אבן הבניין הבסיסית עבור המחשב הקוונטי העתידי, מחשב בעל יעילות מחשוב חסרת תחרות. עד עתה, חוקרים נתקלו בטרנזיסטורים חד-אטומיים רק במקרה, כאשר הם נאלצו לחפש אותם מבין התקנים רבים או לכוונן התקנים רב-אטומיים שונים על מנת לבודד את האחד שיעבוד כהלכה.

"אולם ההתקן שלנו הוא המושלם", אומרת פרופ' מישל סימונס, ראש קבוצת המחקר ומנהלת המרכז למיחשוב ותקשורת קוונטיים באוניברסיטה האוסטרלית University of New South Wales. "זוהי הפעם הראשונה אי-פעם שמישהו הדגים בקרה על אטום יחיד בחומר עם רמת דיוק מדהים שכזו."

להתקן המיקרוסקופי יש אפילו חיבורים זעירים נראים המעוגנים למשטח שלו על מנת שהחוקרים יוכלו להוסיף חיבורי מתכת ולהפעיל דרכם מתח חשמלי, אומר אחד מהחוקרים. "קבוצת המחקר שלנו הוכיחה כי אכן אפשר למקם אטום זרחן יחיד בסביבת סיליקון - בדיוק במקום שבו אנו צריכים אותו -

עם דיוק כמעט אטומי, ובה בעת ליצור שערים", אומר החוקר. ההתקן ראוי לציון גם לאור העובדה כי התכונות האלקטרוניות שלו מתאימות במדויק לתחזיות התיאורטיות שבוצעו לפני כן ע"י קבוצות מחקר אחרות שהשתתפו במיזם.

צוות החוקרים השתמש במיקרוסקופ מינהור סורק (STM) על מנת לצפות באטומים המצויים ע"ג משטח הגביש הנמצא בתא של ואקום אולטרה-גבוה ולהזיז אותם לפי הצורך. בעזרת שיטה ליתוגרפית החוקרים הצליחו להטמיע אטומי זרחן בתוך הגבישים של התקנים פעילים ובשלב הבא לכסות אותם בשכבה בלתי-פעילה של מימן. אטומי מימן אלו הורחקו באופן בררני מאזורים מוגדרים במיוחד בגביש בעזרת חוד המתכת הזעיר מאוד של המיקרוסקופ. תגובה כימית מבוקרת המתרחשת בשלב הבא משלבת את אטום הזרחן לתוך משטח הסיליקון. לבסוף, המבנה כולו נאטם על ידי שכבת סיליקון וההתקן מחובר חשמלית באמצעות מערכת מורכבת של חיבורים מיישרים הנמצאים על גבי שבב הסיליקון לשם התאמת חיבורי המתכת. התכונות האלקטרוניות של ההתקן התאימו ברמה מצוינת לתחזיות התיאורטיות עבור טרנזיסטור המבוסס על אטום זרחן יחיד.

צופים כי טרנזיסטורים יתבססו על רמה של אטום יחיד כבר בשנת 2020, וזאת על מנת ליישר קו עם חוק מור המתייחס למגמה המתמשכת בחומרת מחשב, חוק הטוען כי מספר רכיבי השבב מכפיל את עצמו מדי 18 חודשים. התקדמות משמעותית זו מזרזת את אפשרות הפיתוח של הטכנולוגיה הרבה לפני לוח הזמנים הצפוי ותורמת תובנות יקרות