

# פרס נובל בפיסיקה בשנת 2000

דוד מלינק, המרכז למחקר גרעיני נחל שורק (ממ"ג)\*

יישור זרם). אך לא היה תחליף לטריודת הואקואום, בה הזרם בין האנודה לקתודה מבוקר בעזרת מתח הסריג. בשנת 1947 הומצא הטרנזיסטור (הביפולרי) על ידי John Bardeen, Walter Brattain ו-William Shockley. על המצאה זו הם זכו בפרס נובל בפיסיקה בשנת 1956. הטרנזיסטור היווה מהפכה בעולם האלקטרוניקה. הוא החליף בצורה מוצלחת את שפופרת הריק, היה קטן יותר מבחינה פיזית, צרך פחות אנרגיה, עבד במתחי עבודה נמוכים, התחמם פחות בזמן השימוש וניתן היה ליצרו בייצור סדרתי בעלות נמוכה יותר. הטרנזיסטור החליף את שפופרת הריק הן במעגלים ספרתיים, בהם הוא משמש כמתג, והן במעגלים אנלוגיים בהם הזרם בין הפולט (emitter) לקולט (collector) נקבע על ידי זרם הבסיס (base).

במעגלים האלקטרוניים שנבנו השתמשו באלמנטים בודדים: טרנזיסטורים, קבלים, סלילים ונגדים. צריך היה לחבר את כל הרכיבים על ידי הלחמות או על ידי בניית מעגל מודפס - תהליך שהוסיף טעויות וסיבוך. עם הצמיחה בתעשיית המחשבים הלכה וגדלה הדרישה לטרנזיסטורים ולשיטות חיבור ביניהם.

בשנת 2000 ניתן פרס נובל בפיסיקה עבור שתי תרומות משמעותיות לעידן המידע, התקשורת והמחשוב. ג'ק קילבי (Jack Kilby), (היום גימלאי של חברת Texas Instruments Inc), שותף להמצאת מעגלי מיקרו-אלקטרוניקה משולבים, זכה במחצית מסכום הפרס. ז'ורס אלפרוב (Zhores Alferov), מנהל מכון יופה לפיסיקה בסנט פטרסבורג (A.F. Ioffe Physico-Technical Institute, St Petersburg, Russia) והרברט קרומר (Herbert Kroemer) מאוניברסיטת קליפורניה בסנטה ברברה - (University of California at Santa Barbara) הנחשבים לחלוצים בפיתוח טכנולוגיית המבנים המעורבים (heterostructures) התחלקו במחצית השנייה של הפרס.

## מעגלים משולבים

המצאת 'שפופרת הריק' קידמה את עולם האלקטרוניקה. ניתן היה לבנות בעזרתה מעגלים המבצעים עיבוד אותות אנלוגיים ומעגלים ספרתיים, אך שפופרות הריק צרכו הספק רב ותפסו נפח רב. החשיבה על מעבר לטכנולוגיית מוליכים למחצה קסמה לעוסקים בתחום. הם ידעו כיצד ליצור צומת pn של מוליכים למחצה, ודיוודות מצב מוצק שימשו בספקטרום רחב של יישומים. (למשל בגלאים בניסויים פיסיקליים או במעגלי

## פסי אנרגיה במוליכים למחצה

האטומים המרכיבים גביש מסודרים במבנה מחזורי. כתוצאה מכך הכוחות החשמליים המשפיעים על האלקטרונים גם הם מחזוריים. כאשר מחשבים את רמות האנרגיה האפשריות לאלקטרונים הנמצאים בפוטנציאל מחזורי (פותרים את משוואת שרדינגר), מתברר כי האלקטרונים יכולים לקבל ערכי אנרגיה רק בתחומים מסוימים. תחומים אלו נקראים פסי אנרגיה מותרים. (במקביל לרמות אנרגיה בדידות באטום בודד). מבנה זה מתואר **בתרשים 1**. הפס התחתון נקרא **פס הערכיות**,



תרשים 1: תיאור סכימטי של פסי האנרגיה במוליך למחצה

ורמתו הגבוהה ביותר מאוכלסת על ידי אלקטרוני הערכיות. הפס העליון נקרא **פס ההולכה**. פער האנרגיה בין הקצה התחתון של פס ההולכה לקצה העליון של פס הערכיות הוא **פס אסור**.

כאשר פס ההולכה אינו מאוכלס כלל ופס הערכיות מלא הגביש הוא מבודד. כאשר פס ההולכה מאוכלס חלקית הפעלת שדה חשמלי על הגביש תאיץ את האלקטרונים שבפס וייווצר זרם. במוליכים למחצה ובמבדדים, בטמפרטורת האפס המוחלט, פס הערכיות מלא באלקטרונים ופס ההולכה ריק.

\* ד"ר דוד מלינק שוהה היום בשבתון בארה"ב במעבדות Bell של Lucent Technologies ו-Agere Systems עד לנסיעתו היה ראש השטח להנעה אלקטרומגנטית בממ"ג.

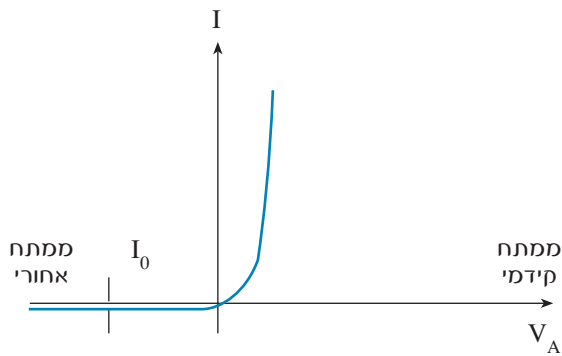
במוליכים למחצה פער האנרגיה בין פס הערכיות לפס ההולכה קטן משני סדרי גודל של האנרגיה התרמית ( $100kT$ ), ואלקטרונים מפס הערכיות יכולים לדלג על פער האנרגיה לפס ההולכה. במקום הריק שנוצר לאחר דילוג האלקטרון לפס ההולכה נשאר "חור" בפס הערכיות אשר מתנהג כחלקיקי בעל מטען חיובי.

כשהטמפרטורה עולה קיימת הסתברות סופית למעבר אלקטרונים מפס הערכיות לפס ההולכה (בהתאם להתפלגות פרמי-דירק). בטמפרטורת החדר אכלוס האלקטרונים בפס ההולכה, ואכלוס החורים בפס הערכיות נמוך למדי ומוליכות הגביש המוליך למחצה נמוכה. אם מוסיפים **אילוח** (קרוי גם סימום - עקבות חומר אחר) של חומר "עשיר" באלקטרונים (כגון זרחן לסיליקון) מתקבל מקור נוסף של אלקטרונים המסוגלים לדלג לפס ההולכה ואכלוס האלקטרונים בפס ההולכה גדל משמעותית. במקרה זה מקובל הכינוי **גביש מסוג n**, ( $n$  מלשון negative) כדי לציין שקיים ריכוז גבוה של נושאי מטען שליליים. לאטומים של חומר האילוח קוראים **תורמים** (donors).

באופן דומה ניתן להוסיף אילוח של חומר "עניי" באלקטרונים כמו בורון לסיליקון, אשר מסוגל לקלוט אלקטרון. במקרה זה אנו מגדילים את ההסתברות שאלקטרונים יקפצו מפס הערכיות לתוך אטומי התורמים וישאירו אחריהם חורים. למוליך למחצה כזה, בעל ריכוז משמעותי של חורים, קוראים **מוליך למחצה מסוג p**, ( $p$  מלשון positive). במקרה זה קוראים לאטומים של חומר האילוח **נוטלים או קולטים** (acceptors).

### צומת pn

כאשר חומר מסוג n נמצא במגע פיסי עם חומר מסוג p. מתקבל **צומת pn** המהווה **דיודה**. אם מחברים לצומת מקור מתח בין  $p$  ל- $n$  באופן ש- $p$  יהיה חיובי ו- $n$  יהיה שלילי, תיווצר הולכת אלקטרונים מה- $n$  ל- $p$  וחורים מה- $p$  אל ה- $n$ . אם הופכים את החיבור באופן ש- $n$  יהיה חיובי ביחס ל- $p$  הצומת אינו מוליך ואנו אומרים שהוא **בממתח אחורי (תרשים 2)**.



תרשים 2: אופיין של הזרם  $I$  לעומת המתח  $V$  של דיודת הצומת

כדי להשלים את המעגלים היה צורך בחיבורים נוספים שבוצעו לאחר הייצור. החיבורים בוצעו על ידי הלחמת מוליכים עשויים זהב. עבודתו של קילבי היוותה הוכחת היתכנות, והוא רשם עליה פטנט.

תרומה משמעותית אשר התוותה את הדרך למעגלים המשולבים כפי שהם היום, הייתה עבודתו של רוברט נויס (Robert Noyce). הוא השתמש בפיתוח של Jean Hoerni אשר יחד עם אחרים פיתח טכניקה לציפוי התקנים, שנבנו על מצע סיליקון, ב- $SiO_2$ . הציפוי שימש להגנת ההתקנים מזיהומים, וניתן היה לעבד את המשטח המצופה כך, שפני השטח יהיו מישוריים ללא "גבעות ועמקים".

נויס החליט להשתמש בפני השטח המישוריים של  $SiO_2$  המצפים את ההתקנים. הוא בנה את האלמנטים המרכיבים את המעגל על פיסת סיליקון. הבידוד החשמלי בין האלמנטים נבע מכך שהמתח בין השכבות השונות יוצר דיודות בממתח אחורי. כל המרכיבים צופו בתחמוצת סיליקון שעברה תהליך

קילבי החל לעבוד בחברת Texas Instruments ב-1958. לפי המסופר, באותו קיץ יצאו רוב העובדים לחופשה, אך קילבי לא היה זכאי לה. הוא נשאר לבדו במעבדה וניסה לבדוק את הרעיון של שימוש בתהליכי הייצור של טרנזיסטורים, לבניית אלמנטים נוספים הדרושים למעגלים על **מצע אחד**, ולחברם יחד. צמתי pn בממתח אחורי יכולים להוות קבלים, ושכבות מוליך למחצה שעברו העשרה בנושאי מטען על ידי תהליך דיפוזיה יכולות להוות נגדים. מידת הדיפוזיה קובעת את מידת המוליכות.

באותו קיץ הצליח קילבי לבנות שני מעגלים על מצע גרמניום: מעגל תנודות מיוחד - **phase shift oscillator**, ומעגל **flip flop** שהוא מעגל חשמלי בעל שני מצבים יציבים. ניתן להעביר את המעגל ממצב למצב על ידי אות חיצוני. לעיתים קרובות משתמשים במעגל flip flop כדי לשמור אינפורמציה של סיבית דיגיטלית היכולה להיות 0 או 1. חלק מאבני הבניין של המעגלים יוצרו במצב המחובר הנדרש;

בניית מעגלי גליום ארסניד מהירים מאד, ובמיוחד על בניית לייזרים יעילים של מצב מוצק המשמשים כיום את התקשורת באמצעות סיבים אופטיים.

כדי להבין את תרומתם נתאר את עקרונות הפעולה של דיודת מצב מוצק הפולטת אור (LED)<sup>1</sup>. כאשר נוצר מגע פיס (בלא הפעלת מתח חיצוני) בין מוליך למחצה מטיפוס n עם מוליך למחצה מטיפוס p קיימת דיפוזיה של אלקטרונים מצד ה-n לצד ה-p. במקביל קיימת דיפוזיה של חורים בכיוון ההפוך. תנועת האלקטרונים משאירה מאחוריה יונים חיוביים של תורמים (donors) ותנועת החורים משאירה מאחוריה יונים שליליים של קולטים או נוטלים (acceptors). בתוך הצומת נוצר שדה חשמלי המאיץ אלקטרונים וחורים בכיוון הפוך לתהליך הדיפוזיה. השדה ממוקד באזור הצומת, והאנרגיה  $eV_0$  שהוא מעניק למטען e מאפיינת את הדיודה. נוצר מצב של שיווי משקל בו זרם הסחיה, הנובע מההאצה החשמלית, וזרם הדיפוזיה מבטלים זה את זה.

הפעלת ממתח חיובי על הדיודה שקול להקטנת הפוטנציאל  $V_0$ , המתנגד לזרימה. מקבלים זרימה של אלקטרונים מאזור ה-n אל אזור ה-p, ושל חורים לכיוון ההפוך. הזרם גדל באופן מעריכי עם המתח. מפל המתח העיקרי הוא באזור הצומת. במצב זרימה, כאשר אלקטרונים נסחפים לאזור ה-p העשיר בחורים, מתקיים שם תהליך של רקומבינציה (התאחות - Electron Hole Annihilation EHA). בתהליך זה אלקטרון בפס ההולכה "נופל" למקום פנוי בפס הערכיות, ושני נושאי המטען נכחדים. תהליך ה**התאחות** מקטין את ריכוז החורים באזור ה-n ואת ריכוז האלקטרונים באזור ה-p. הוא מלווה ב**שחרור אנרגיה**. אם מבנה הגביש מאפשר "**מעבר ישיר**" (direct transition), לדוגמה בגביש GaAs, התנע של האלקטרון ושל החור כמעט מבטלים זה את זה, ושחרור האנרגיה מלווה בפליטת פוטון, שהאנרגיה שלו,  $h\nu$ , שווה בקירוב רב להפרש האנרגיה בין שני הפסים המותרים. התנע של הפוטון קטן יחסית לתנע של האלקטרון. בגביש סיליקון תהליך ההתאחות **אינו ישיר**. הוא מלווה בשינוי משמעותי בווקטור הגל, כלומר **בתנע** של נושאי המטען; האנרגיה המשתחררת **איננה מלווה בפליטת אור** כי אם בעירור **פונונים\*** וחימום.

**תרשים 3** מתאר את ריכוז נושאי המטען בשני צדי צומת pn בזמן הפעלת ממתח חיובי והולכת זרם. רוחב התחום בו קיימים אלקטרונים באזור ה-p הוא מסדר גודל המהלך

יישור פני השטח. נויס איכל חורים במקומות המתאימים לחיבורים בין האלמנטים. הוא שיקע אלומיניום המשמש כמוליך על המשטח כולו. בעזרת מסיכה מתאימה הסיר את רוב האלומיניום ונשאר עם מוליכי אלומיניום המחברים בין האלמנטים. התוצאה הייתה מעגל עובד בלא צורך בהלחמות נוספות. גם עבודתו של נויס נרשמה כפטנט. נויס נפטר ב-1990.

בקהילת חוקרי המוליכים למחצה נחשבים קילבי ונויס לממציאים ומפתחים של המעגלים המשולבים. הטכנולוגיה השתנתה רבות במשך השנים, אך Si נותר כמוליך למחצה הנפוץ ביותר, והשיטות ליצירת חיבורים דומות. עדיין משתמשים במוליכי אלומיניום ברוב המעגלים המתקדמים ביותר.

אין ספק שהמצאת המעגל המשולב הצעידה קדימה את עולם המחשבים, עולם התקשורת ואת התעשייה כולה. היום אנו עדים לשבבי סיליקון או גליום ארסניד-GaAs המכילים מיליוני טרנזיסטורים. היתרון שבגליום ארסניד הוא שהניידות של נושאי המטען בו הרבה יותר גבוהה מהניידות של נושאי המטען בסיליקון. לכן ניתן לקבל רכיבים מהירים יותר בעזרת טכנולוגיה זו. כיום ישנם גם רכיבים מורכבים יותר המשתמשים בשילוב בין סיליקון וגרמניום. (על טכנולוגיה זו לא נדון במאמר זה).

כמעט בכל מקום אנו מוצאים מעגלים אלקטרוניים משולבים. מהירות המחשוב התפתחה גם היא בצורה מדהימה. בעוד קצב שעון של מספר מגה הרץ ( $10^6\text{Hz}$ ) בודדים נחשב לפני 30 שנה למהיר, הרי היום המעגלים המהירים פועלים בקצבים העולים על גיגה הרץ ( $10^9\text{Hz}$ ).

## Heterostructure (מבנה מעורב)

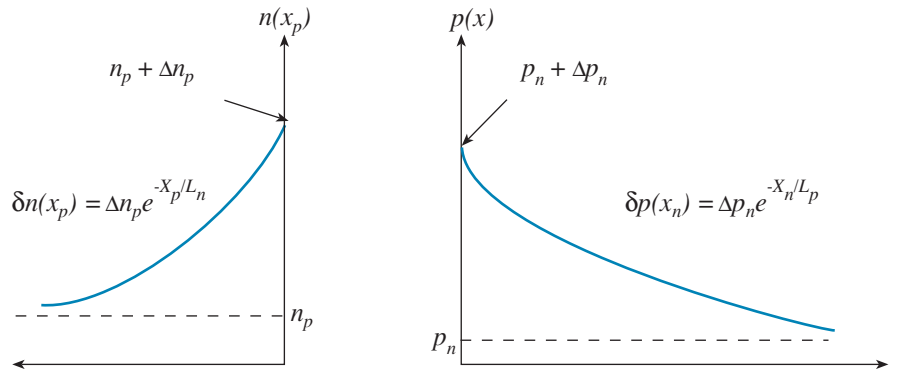
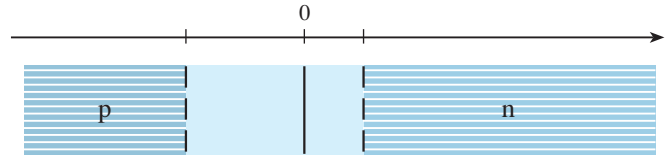
בעולם המוליכים למחצה משמשת המילה heterostructure לציון צומת בין חומרים מסוגים שונים. הטרנזיסטורים הרגילים והדיודות הרגילות בנויים בדרך כלל מסוג אחד של גביש (סיליקון, גרמניום, גליום ארסניד ועוד), המועשר באיזורים מסוימים באלקטרונים כנושאי מטען (טיפוס n) או בחורים כנושאי מטען (טיפוס p). על ידי בניית צמתים המכילים יותר מאשר סוג אחד של מוליך למחצה, ניתן להשיג טרנזיסטורים יעילים יותר ומהירים יותר ודיודות לייזר יעילות יותר.

לתרומתם של אלפרוב וקרומר הייתה השפעה מכרעת על

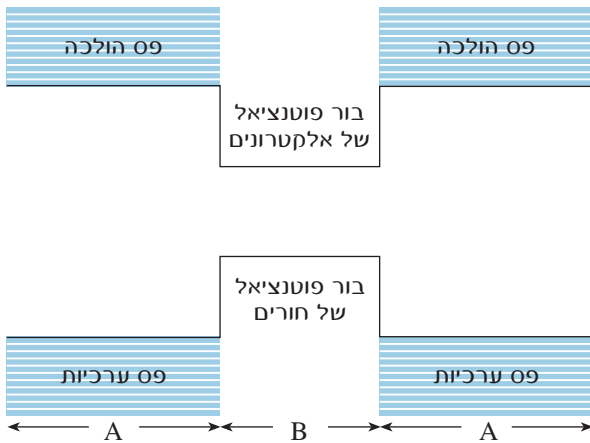
\* בגביש יכולות להיווצר תנועות קולקטיביות מחזוריות (תנודות) של האטומים. בדומה לאוסילטור הרמוני מתקבלות רמות אנרגיה בדידות של  $h\nu$ , כאשר התדירויות  $\nu$  הן אקוסטיות. למנות אנרגיה אלה קוראים **פונונים** באנלוגיה לפוטונים של גל אלקטרומגנטי.

לכידת נושאי המטען בתוך בור הפוטנציאל, מקדם השבירה של החומר האמצעי (B) גבוה יותר. הוא גורם לכידת האור בתוכו, בדומה למצב בסיב אופטי, וכך מגדיל את פליטת האור המאולצת.

בשנת 1963 רשמו שני חתני פרס הנובל בצורה בלתי תלויה, כל אחד בארצו הוא-אלפרוב ברוסיה ו-קרומר בארה"ב - פטנט על הרעיון של DHS. למרות שהרעיון היה קיים והפטנט נרשם, היה צריך לחכות עוד זמן מה להבשלת הטכנולוגיות.



תרשים 3: צומת pn בממתח קדמי. ריכוז האלקטרונים שחדרו לאזור ה-p דועך עם המרחק. כנ"ל לגבי חורים שחדרו לאזור n.



תרשים 4: מבנה רב שכבתי. גביש עשוי מחומר B בו הפער בין פס ההולכה לפס הערכיות קטן מהפער בין הפסים בחומר A. ניבנה בתוך חומר A. נוצרו בורות פוטנציאל לאלקטרונים ולחורים. ב-1970 דיווח אלפרוב לראשונה על בניית לייזר DHS רציף. הוא השתמש ב- (A) GaAs ו- (B) GaAlAs.

ב-1970 דיווח אלפרוב לראשונה על בניית לייזר DHS רציף. הוא השתמש ב- GaAs ו- GaAlAs. חודש לאחר מיכן דיווחו Izuo Hayashi ו- Morton Panish, עובדי מעבדות Bell בארה"ב, על תוצאה דומה.

פיתוח טכנולוגיות מתקדמות כמו: (MOCVD - Metallo Organic Chemical Vapor Deposition, MBE- Molecular Beam Epitaxy, LPE-Liquid Phase Epitaxy)\*

החופשי של נושאי המטען. ריכוז האלקטרונים דועך מעריכית עם המרחק. הוא הדין לגבי החורים שחדרו לאזור ה-n. בעצם קיים באזור זה מצב של היפוך אוכלוסיה הדרוש לזיזרה. הממתח החיובי מקיים אספקה של אלקטרונים בעלי אנרגיה המתאימה לרמת האנרגיה של פס ההולכה, היכולים ל"דעוך" לחור מתאים בפס הערכיות. כדי לקבל לזיזרה יש צורך בחלל תהודה מתאים. כאשר בונים את הצומת pn בונים אותה בצורת חלל תהודה, ונותנים את הדעת לאורך הגל ולתלות מקדם השבירה באורך הגל.

הלייזרים הראשונים שנבנו פעלו על עקרון פעולה זה. אזור הזיזרה לא היה מוגדר מספיק ויעילות הלייזר, המבוטאת ביחס שבין האנרגיה החשמלית המושקעת לאנרגיית האור הקוהרנטי המתקבלת, הייתה נמוכה.

כדי להעלות את היעילות של הלייזר העלו קרומר ואלפרוב, באופן בלתי תלוי, את הרעיון של שימוש במבנה רב שכבתי של (double-heterostructure) DHS. הם תיכננו מערך שכבות בעל מבנה פסים המתואר בצורה עקרונית בתרשים 4. החומר האמצעי הוא חומר בו הפער בין פס ההולכה לפס הערכיות קטן יותר. בעקבות הפעלת מתח חל שינוי קל במבנה הפסים, אך עקרונית הוא דומה לזה שבתרשים. במבנה זה האלקטרונים "חווים" בור פוטנציאל. באותו המקום גם החורים "חווים" בור פוטנציאל. לכן נוצר בגביש אזור מוגדר בו גדולה מאוד ההסתברות למציאת אלקטרון וחור. בנוסף

\* epitaxy - שיטת גידול גבישים בה מגדלים גביש על פני מצע שגם הוא גבישי.

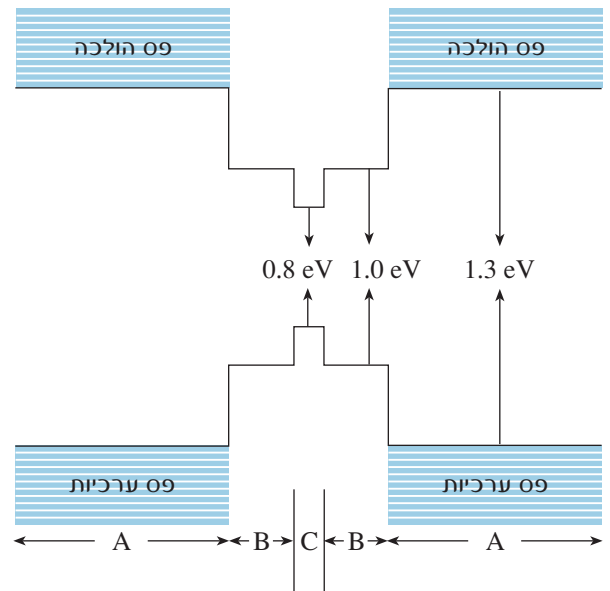
עם התפתחות הטכנולוגיות לגידול גבישים השתכללו הן המעגלים האלקטרוניים המהירים והן דיודות הלייזר. הטלפונים הסלולרים צורכים טרנזיסטורי GaAs שנבנו בטכנולוגיית המבנה המעורב. ציוד מדידה מדויק וכל התקשורת בין מחשבים וטלפונים מתבצעים כיום בעזרת לייזרים<sup>2</sup> של מצב מוצק המבוססים על טכנולוגיה זו. גם הדורות העתידיים של ההתקנים האלקטרו-אופטיים, המפותחים כיום במעבדות מחקר בעולם לשימושי תקשורת אופטית ומחשוב מהיר, מבוססים על טכנולוגיית המבנה המעורב בחומרים מסוג גליום ארסניד ואינדיום פוספיד.

### מראי מקום ולקריאה נוספת

1. **מוצקים ואור - עקרונות מתורת הקוואנטים בתיאור חזותי**, מדריך למורה, תרגום ועיבוד רמי אריאלי, מהדורת עיצוב, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות, 2000.
2. אריאלי, ר., **לייזרים ויישומיהם**, פרק 6.3, מהדורה ניסויית, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות, 1999.
3. ברלב, א., וגולן, ג., **מוליכים למחצה**, האוניברסיטה הפתוחה, 1996.
4. ברלב, א., וגולן, ג., **התקני מוליכים למחצה ומיקרואלקטרוניקה**, האוניברסיטה הפתוחה, 2000.
5. Ehrenreich, H., **The electrical properties of materials**, Scientific American, Sept. 1967.

תהודה

איפשר בהמשך לגדל גבישים טובים יותר (ללא נקעים ועיוותים) אשר באמצעותם ניתן היה לבנות התקנים עם ביצועים משופרים. לימים השתכלל הרעיון ואנו עדים היום ללייזרים בהם מבנה הפסים דומה למתואר **בתרשים 5**. הוספת חומר שלישי (C) מצמצם את ממדי בור הפוטנציאל ומאפשר להגדיר את אורך גל האור המתקבל בלייזר בדיוק רב יותר.



תרשים 5: מבנה רב שכבתי משוכלל יותר. בור הפוטנציאל במרכז מגדיר בממדיו את אורך הגל של הלייזר בצורה מדויקת. במבנה המתואר בתרשים, בונים היום את השכבות הבאות: חומר A הוא InP, חומר B הוא InGaAsP, חומר C מורכב מאותם חומרים אבל היחס בין P ל-InGaAs-7 שונה.

### לידיעת המורים

בהתאם לכתוב בחוזר מיוחד ה' תשנ"ה יזכו מאמרים שלכם שיפורסמו ב"תהודה" בגמול השתלמות כפי שפורסם בחוברת "זכויותיך", (אוקטובר-נובמבר 94, עמ' 47, אוקטובר 1994) סעיף 16. להלן הקטע הרלבנטי:

#### עבודת מחקר או פרסום מדעי

עובד הוראה, שכתב עבודת מחקר או חיבור מדעי, שפורסם בכתב-עת או בקלטת, תיבדק זכותו לגמול השתלמות ע"י ועדה מיוחדת הפועלת ליד גף דירוג והסמכה באגף כוח-אדם בהוראה. זאת בתנאי שהעבודה הנדונה לא זיכתה את עובד ההוראה בדרגת שכר או בתואר. הוועדה תחליט על מספר הגמולים לפי שיקול דעתה ועפ"י הכללים כלהלן: עריכה, ליקוט או תרגום אינם מזכים בגמול השתלמות.

עובד הוראה המועסק באגף תוכניות לימודים, במרכז להוראת המדעים (מל"מ), במרכז לטכנולוגיה חינוכית (מט"ח) וכיו"ב, לא יזכה בגמול בעד כתיבה בתוקף תפקידו.

עובד המועסק בהוראה בהיקף של 2/3 ממשרה מלאה לפחות, והוא מועסק גם בכתיבה באחת המסגרות הנ"ל בהיקף של עד 1/3 משרה, יהיה זכאי להגיש בקשה לגמול בעבור כתיבת חומר לימודי. לשם כך עליו להמציא אישור על שיעור משרתו משני מקומות העבודה.

משרד החינוך לא יתחייב להחזיר את הפרסומים. חלקם נשארים בספריות שונות של המשרד, אך רובם מוחזרים לבעליהם. בקשות עפ"י סעיף זה יוגשו ע"ג טופס מיוחד מס' ח"ת 050.202, שניתן לקבלו בלשכות המחוזיות של משרד החינוך.