

הפרויקט שעשיתי עוסק באפיון תכונות המוליכות של גביש  $Bi_2Se_3$  שמוחדרת אליו נחושת.  $Bi_2Se_3$  הוא מבודד טופולוגי, ובהחדרה של נחושת תכונות המוליכות שלו משתנות. על מנת לאפיין גבישים אלו, ערכתי בפרויקט מדידות של אפקט הול עבור גבישים עם ריכוז שונה של נחושת. עבדתי עם דגימות מוכנות של גבישים עם ריכוזים שונים של נחושת, מדדתי את העובי שלהם באמצעות VSI, חיברתי את המגעים לדגימה, ומדדתי אפקט הול בטמפרטורות נמוכות (של הליום נוזלי) בשיטת Van der Paw. בפרויקט מדדתי גביש  $Bi_2Se_3$  נקי (שתי דגימות מגבישים שהוכנו בזמנים שונים), ועוד שתי דגימות עם ריכוזים שונים של נחושת. התוצאות שהתקבלו:

שם הדגימה	צפיפות נושאי מטען ( $cm^{-3}$ )	מוביליות ( $cm^2V^{-1}s^{-1}$ )	עובי (cm)	% נחושת
$Bi_2Se_3$ 35 – 65	$1.2 \times 10^{18}$	$6.4 \times 10^3$	$1.4 \times 10^{-2}$	0
$Bi_2Se_3$ 35 – 65 new batch	$5.3 \times 10^{18}$	$2 \times 10^3$	$4 \times 10^{-3}$	0
12-05-13 samp A	$1.3 \times 10^{20}$	$6 \times 10^2$	$1.5 \times 10^{-2}$	10%
12-05-13 samp E	$2 \times 10^{20}$	$6 \times 10^2$	$3.5 \times 10^{-3}$	15%

אפשר לראות קפיצה בצפיפות נושאי המטען כשמחדירים נחושת לגביש, ועליה בצפיפות כשריכוז הנחושת עולה. המוביליות (כלומר, היחס בין מהירות הסחיפה לשדה החיצוני) יורדת כשמוסיפים לגביש נחושת, מה שמרמז שהפיזור במנגנון ההולכה שונה, ובאמת בגביש הטהור ההולכה היא על השפה, וכשמוסיפים נחושת מקבלים הולכה בbulk, וניתן לצפות לשינוי במוביליות.

## רקע

### הגביש הנמדד

$Bi_3Se_3$  הוא מבודד טופולוגי. הפנים שלו מבודד, אבל על השפה שלו יש מצבים מוליכים שנשמרים ע"י סדר טופולוגי. בהחדרה של נחושת מתקבל גביש עם תכונות הולכה שונות, ובתנאים מסויימים ניתן לראות גם על-מוליכות.

### אפקט הול

אפקט הול הוא אפקט שבו שדה מגנטי במוליך גורם למתח חשמלי בניצב לכיוון הזרם, שמאזן את כוח לורנץ הפועל על נושאי המטען. המתח הנוצר שווה ל  $\frac{IB}{qnd}$ , לכן מדידה של מתח זה עבור זרם, שדה מגנטי ועובי יודעים מאפשר למצוא את צפיפות נושאי המטען ואת הסימן שלהם. בנוסף, ניתן להשתמש באפקט הול כדי למדוד שדה מגנטי באופן מאוד מדויק.

באופן כללי, ניתן לתאר הולכה חשמלית בעזרת המוליכות, שמתארת מה צפיפות הזרם שיוצר שדה חשמלי –  $j = \sigma E$ . צפיפות הזרם נובעת מסחיפה של מוליכי מטען, והגודל שמתאר את מהירות הסחיפה שהשדה החשמלי גורם לה הוא המוביליות –  $v = \mu E$ . מבחינה מיקרוסקופית, המוביליות נובעת מהפיזורים במוליך שמגיעים מאי-הומוגניות ומתנודות תרמיות. הקשר בין המוליכות החשמלית (שמתארת את התגובה המאקרוסקופית לשדה חשמלי) למוביליות (שמתארת את התגובה המיקרוסקופית) הוא  $\sigma = qn\mu$ . היות שמדידות הול מאפשרות לקבל את היחס  $qn$  בין המוליכות למוביליות ניתן לחשב באמצעותן גם את המוביליות.

## שיטת ואן דר פה

שיטת ואן דר פה היא טכניקה המאפשרת מדידה של מוליכות ומדידת אפקט הול. מדידת המוליכות מתבססת על מדידה של שתי התנגדויות  $R_a$  ו  $R_b$  שמתקבלות מחיבור הדגימה בארבע נקודות בשני דרכים:

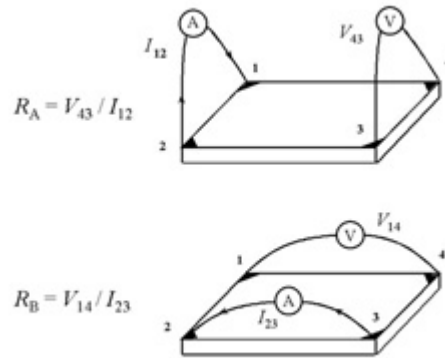
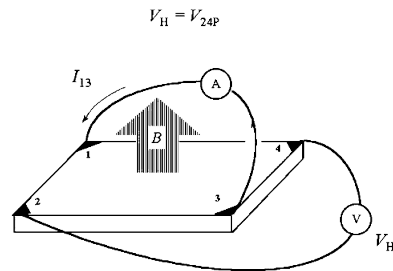


Figure 2

ההתנגדות המשטחית (שהיא עובי הדגימה מחולק במוליכות)  $R_s$  מקיימת  $e^{-\pi R_A/R_s} + e^{-\pi R_B/R_s} = 1$  (בלי תלות בנתונים הגאומטרים של הדגימה), וכך ניתן לקבל אותה, ואז גם את המוליכות. באותם ארבעה חיבורים משתמשים גם למדידות הול:



למדידה זו מפעילים שדה מגנטי, מפעילים זרם בין שתי פינות נגדיות ומודדים את מתח הול שנוצר בין שתי הפינות האחרות.

לשתי מדידות אלו מניחים שלדגימה יש עובי אחיד, ושהיא אחידה בתכונותיה החשמליות.