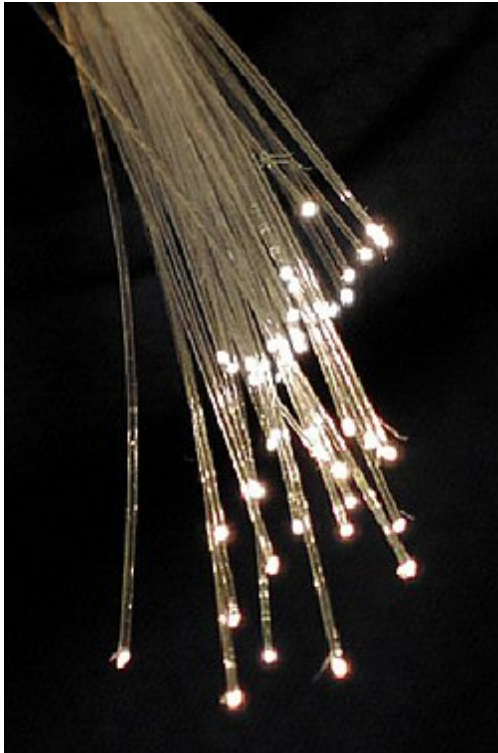


סיב אופטי



סיבים אופטיים

סיב אופטי הוא סיב מחומר שקוף (בדרך כלל זכוכית) המאפשר העברת אור מקצהו האחד לאחר, ומבוסס על העקרון הפיזיקלי הנקרא "החזרה גמורה (או החזרה מלאה) של קרן אור".

את הרעיון להשתמש בסיבי זכוכית להעברת מידע הגה החוקר הסיני צ'ארלס קאו (Charles Kao) ב-1966. הוא הבחין ביתרונות של שיטה זו על פני העברת אותות חשמליים בכבלי נחושת, שבהם האות סובל מניחות גבוה ככל שהמרחק (אורך הכבל) גדל. ב-1970 יוצר הסיב האופטי הראשון על ידי מספר חוקרים בחברת הזכוכית האמריקאית קורנינג.

מבנה וטכנולוגיה

הסיב מורכב מליבה (core) ומעטפת (cladding) ששתיהן שקופות. מקדם השבירה של הליבה גבוה מעט מזה של המעטפת החיצונית ובכך יוצר מצב בו קרני האור "לכודות" בתוך הסיב ונעות לאורכו גם בפניות או בפיתולים. המעטפת מצופה בשכבת מגן דקה נוספת (jacket) עשויה מפלסטיק, שמטרתה להגן על המעטפת מפני שריטות ומכות (האור אינו מתקדם בתוך שכבה זו אלא רק בתוך שכבות הזכוכית הפנימיות). חוזק מכני מוקנה על ידי עטיפה בשכבת מגן נוספת (לרוב מקוולר) ששומרת על שלמות השכבות הפנימיות ומונעת כיפוף יתר.

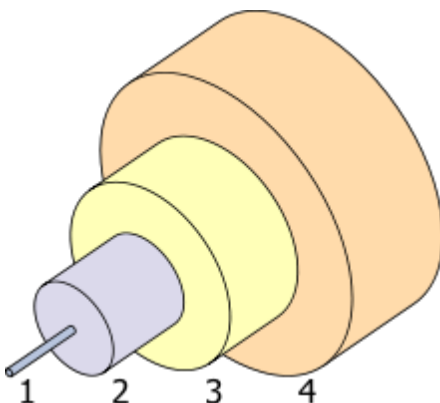
בתקשורת אופטית האותות בסיב האופטי הם בתחום האינפרא אדום בשלושה תחומים עיקריים של אורכי גל: סביב 850 ננומטר, סביב 1310 ננומטר, או סביב 1550 ננומטר. מאחר שהנחת כבלים אופטיים היא פעולה יקרה ומורכבת המצריכה תיאום בין גופים רבים, כבל סיב אופטי מכיל בדרך כלל כמה עשרות סיבים אופטיים כדי למזער צורך בהחלפת הכבל. השימוש בסיבים בתקשורת הוא בדרך כלל בזוגות; סיב אחד משמש לשליחת נתונים והשני לקבלתם.

סיבים אופטיים נחלקים לשני סוגים:

- **חד-אופן (singlemode)** – סיבים בהם מועבר מידע באופן (mode) יחיד על מנת למנוע הפרעות ולהגיע למרחקי שידור ארוכים. בסיבים אלו אפשר להעביר מידע למרחקים של מעל 100 קילומטר. הם נפוצים בעיקר ברשתות WAN, בין ערים, בין מדינות ובכבלים תת-מימיים. סיבי single mode לתקשורת הם בדרך כלל בעלי מעטפת בקוטר 125 מיקרון, וליבה בקוטר 9 מיקרון, והם עטופים בשכבת מגן בעובי 125 מיקרון. סיב כזה מסומן לעיתים 9/125/125. סדר המספרים הוא ליבה, מעטפת, שכבת מגן.

- **רב-אופן (multimode)** – סיבים בהם מועבר מידע במספר אופנים במקביל. שיטה זו מוגבלת למדי, כיוון שבסיב כזה קיימים מספר מסלולים בהם יכול האור לעבור, ולכן פולס אור קצר בכניסה ימרח

במוצא, מה שמגביל את קצב התקשורת בסיב ואת מרחק השידור. סיבי multimode זולים וקלים לייצור ולכן הם בשימוש ביישומים שבהם לא נדרש רוחב פס גבוה. בסיבים אלו משתמשים להעברת מידע למרחקים של 300 עד 500 מטר, הם נפוצים בשימוש במיוחד ברשתות מקומיות, בתוך בניינים או בין בניינים סמוכים. סיבי multimode עבים יותר מסיבי singlemode - הליבה שלהם היא בדרך כלל בקוטר 50 או 62.5 מיקרון.



מבנה בסיסי של כבל סיב אופטי:

1. ליבה (Core)
2. מעטפת (Cladding)
3. שכבת מגן (Coating)
4. מעטה חיצוני (Jacket)



השכבות השונות בכבל סיב אופטי

מקובל להבדיל בין סיבי single mode לסיבי multimode על ידי שימוש במעטפת חיצונית בצבע שונה – צהוב ל-singlemode וכתום ל-multimode.

לסיב אופטי רמת ניחות נמוכה מאוד, עובדה המאפשרת מעבר מרחקים גדולים מאוד ללא צורך בהגברת האות. הנפיצה הנמוכה של הזכוכית מאפשרת העברת נתונים בקצבים גבוהים מאוד. הטכנולוגיה מאפשרת כיום העברת נתונים בקצבים של עד 40 מיליארד סיביות לשנייה (5 גיגביט - Gigabit), אך באמצעות טכנולוגיות חדשות ושליחת נתונים במספר אורכי גל שונים בו זמנית (WDM), מתאפשרים קצבים הנמדדים באלפי מיליארדים (טרה-ביט - Tera bit) של סיביות בשנייה.

בקצה המשדר מוצב לייזר שהופך את האות החשמלי לאות אופטי, בקצה הקולט ממוקם מקלט – רכיב המשתמש בגלאי להמרת האותות האופטיים המתקבלים לאותות חשמליים.

בשנת 2011 פיתחו מדענים סיב אופטי שמורכב מליבה של אבץ סלני, חומר מוליך למחצה, המאפשר לאור לעבור דרך אורכי גל גבוהים יותר.^[1]

שימושים



אור מוחזר מסיב אופטי מאיר דגם בתערוכה

הסיבים האופטיים הם אחד הסוגים של קווי תקשורת והם מאפשרים תקשורת אופטית שנפוצה בין השאר בטלפוניה, ברשתות מחשבים, תקשורת נתונים, ברשת האינטרנט, ובטלוויזיה בכבלים. בין הסיבות לתפוצתם ניתן למנות את העובדה שהם גמישים וניתן להניח אותם בדומה לכבלי תקשורת אחרים המבוססים על נחושת.

סיבים אופטיים משמשים גם לתאורה, בהעברת אור על פני מרחקים גדולים או כאשר אין מעבר ישיר בין מקור האור למקום המואר. סיבים אופטיים משמשים גם בצעצועים ליצירת אפקטים ויזואליים ובארכיטקטורה על מנת להעביר את אור השמש לחללים פנימיים.

שימוש דומה הוא להעברת לייזר בניתוחים, במיוחד בניתוחי עיניים. שימוש נוסף הוא ליצירת לייזרים מסוימים והגברתם.

בנוסף, משתמשים בסיבים אופטיים כדי לצפות באזורים שאין איתם קו ראייה ישיר. למשל, ברפואה במכשיר הנקרא אנדוסקופ (endoscope) צופים באיברים פנימיים בגוף האדם על ידי השחלת סיב אופטי דרך פתח קטן. מכשירים אלו משמשים גם בתעשיות אחרות בהן יש צורך לבחון אזורים לא נגישים, כגון במערכת צינורות או במנועי סילון. שימוש דומה נעשה גם על ידי יחידות לוחמה בטרור כדי לצפות מבעד לדלת סגורה אל תוך חדר סגור, כדוגמת המתקפה על שגרירות איראן בלונדון וכפי שהודגם בסדרת המשחקים Splinter Cell.

בסיבים אופטיים משתמשים גם בבניית מבנים חכמים, שבהם משתמשים בסיב כגלאי של שינויי טמפרטורה או לחץ.

סיבים אופטיים משמשים גם לכוונות אופטיות.

עקרונות פעולה פיזיקליים

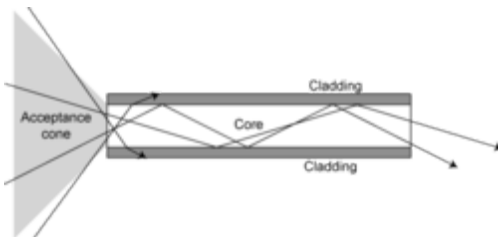
הסיב הוא מוליך גלים אופטי, כלומר: מעביר גלים בתחום הנראה (בפעול, גלים באורך גל של כ-800 ננומטר עד ל-1550 ננומטר). כמעט תמיד, הסיב מורכב מגליל פנימי שנקרא "ליבה" וגליל חיצוני שנקרא "מעטה". מקדם השבירה של הליבה n_1 גדול ממקדם השבירה n_2 של המעטה. לכן, כאשר אור נכנס לסיב ופוגע בדופן בזווית שהיא בטווח הקריטי, הוא יישבר על ידי המעטה בזווית שתחזיר אותו במלואו לתוך הסיב. תופעה זו נקראת החזרה פנימית מלאה והיא מבוססת על חוק סנל. כאמור, קרן האור תוחזר החזרה פנימית מלאה רק אם הזווית שלה יחסית למעטה קטנה מערך מסוים הנקרא "הזווית הקריטית". את הזווית הקריטית של הסיב ניתן לחשב באמצעות חוק סנל ומקדמי השבירה של הסיב $n_2 < n_1$ על ידי

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_{\text{clad}}}{n_{\text{core}}}$$



מכסה כוות כניסה של סיב אופטי ברחוב מרים
החשמונאית בירושלים



שרטוט המציג מבנה של סיב, עם חרוט הקליטה שלו. קרן שנכנסת לסיב דרך החרוט נשמרת בתוכו כתוצאה מהחזרה פנימית מלאה, קרן שלא נכנסת דרך החרוט זולגת החוצה.

אור יתקדם בזווית הקטנה מזווית זו בסיב אם ורק אם הוא יכנס לסיב בזווית הקטנה מ"זווית הקליטה" θ_a . זווית זו, הנמדדת ביחס לציר של הסיב, יוצרת את מה שנקרא "חרוט הקליטה". אור שנכנס אל הסיב דרך חרוט דמיוני זה ישאר בו, אור שיכנס לסיב לא דרך החרוט יזלוג החוצה דרך המעטה. את זווית הקליטה אפשר לחשב על ידי

$$NA = \sin \theta_a = n_1 \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

הגודל NA נקרא "מפתח נומרי" והוא מדד ליכולת קליטת האור (או הצימוד) של הסיב.

- מנחה גלים ואופני התקדמות
- צימוד אופנים
- גורמים להנחתה בסיב (זיהומי יוני הידרוקסיל, אינטראקציה עם החומר, פיזור ריילי)
- נפיצה בסיב

יתרונות

יתרונות הסיב האופטי במערכות תקשורת ביחס לכבלי נחושת:

- ניחות נמוך מאוד לעומת כבלי נחושת - מאפשר שימוש לטווחים ארוכים במיוחד ללא צורך בהגברה
- רוחב פס גדול מאוד, עובדה המאפשרת העברת כמות רבה של מידע
- משקל נמוך יותר
- קיום מגברים אופטיים שמסוגלים להגביר רוחב סרט גדול של כמה עשרות טרה הרץ
- הסיב אינו פולט קרינה אלקטרומגנטית ולכן קשה מאוד להאזין לו או לגלות מידע שעובר על גבי הסיב
- חסין כנגד הפרעות חיצוניות
- לא רגיש למים/לחות - חשוב במיוחד לכבלים תת-קרקעיים או תת-ימיים

ראו גם

- גלבו
- תדירות מנורמלת
- מונחים ברשת מחשבים
- חוק סנל
- גירוסקופ סיב אופטי
- תקשורת אופטית
- צימוד סיבים אופטיים
- תקשורת מבוססת סיב אופטי

קישורים חיצוניים

- קובץ PDF באתר פרס נובל המסביר את הסיבה למתן פרס נובל בפיזיקה לשנת 2009 למפתח התקשורת האופטית (https://web.archive.org/web/20110629061117/http://nobelprize.org/nobel_prizes/physi/cs/laureates/2009/sciback_phy_09.pdf)

- אבי בליזובסקי, פרס נובל לפיזיקה לחלוצי התקשורת האופטית וחיישני ה-www.hayadan.org.il (http://www.hayadan.org.il/the-masters-of-light-0610098), באתר "הידען", 6 באוקטובר 2009

הערות שוליים

1. דר. משה נחמני, סוג חדש של סיב אופטי (<http://www.hayadan.org.il/new-kind-of-optical-fib>) (<http://www.hayadan.org.il/new-kind-of-optical-fib>), באתר "הידען", 2 באפריל 2011.