



טלפון חכם - כימיה חכמה

דבורה קצביץ*

החכם, ולא סתם נמצאים, אלא בעלי תפקיד! עיקר היסודות הם מתכתיים - 62 מתכות שונות. קבוצת מתכות מעניינת, הלנטנידים, משמשת תפקיד משמעותי, ונקראת גם קבוצת המתכות הנדירות (Rare-earth metals). אפשר למצוא כ-16 מתכות נדירות בכמה סוגי סמארטפונים. מתכות אלו לא בהכרח נדירות, אך כמותן מוגבלת והפקתן מורכבת. אחד האתגרים של יצרני הטלפונים הסלולריים היא למצוא להם תחליפים.

פירוט לגבי היסודות שמרכיבים את הטלפון הסלולרי ושימושיהם תמצאו באיור 1.

לכל אחד ואחת מאיתנו יש סמארטפון, אשר לעיתים קרובות מקבל התייחסות מייד כשאנחנו פותחים את העיניים, לפני כל דבר אחר. אחת לשנתיים-שלוש רבים מאיתנו משתדרגים בגרסה חדשה מעודכנת ומשוכללת, עם ביצועים רבים ומהירים יותר. מאחורי הביצועים ומגוון הפונקציות עומדת כימיה ענפה. בכתבה זו נתייחס למגוון היסודות שלוקחים חלק בטלפון החכם, ונתעמק בכימיה של המסך, נתייחס לאלקטרוניקה, ולסוללה.

בכמה יסודות נעשה לדעתכם שימוש בטלפון החכם?

70 מתוך 83 יסודות יציבים בטבלה המחזורית נמצאים בטלפון

* ד"ר דבורה קצביץ, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

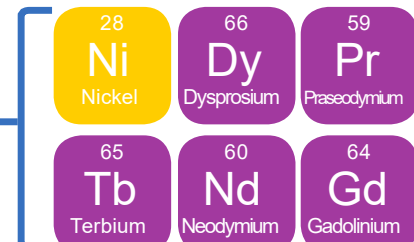
היסודות בסמארטפון ושימושיהם

אלקטרוניקה

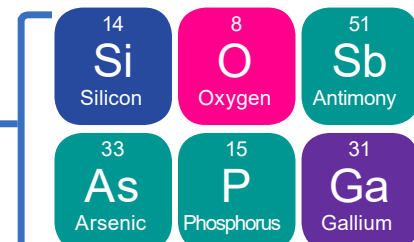
נחושת משמשת לחיווט הסמרטפון. נחושת, כסף וזהב הן המתכות העיקריות שמהן מיוצרים רכיבים מיקרואלקטריים.
טנטאלום (Ta) הוא המרכיב העיקרי של מיקרו קבלים.



ניקל משמש במיקרופון וגם בשאר חיבורים החשמליים. סגסוגות המכילות פרסאודימיום, גדוליניום נאודימיום לוקחות חלק במגנט בתוך הספיקר והמיקרופון. ניאודימיום, טרבייום ודיספרסיום משמשים ביחידת הרטט.



סיליקון משמש לבניית הציפ של הטלפון. אזורים מסוימים של הציפ שנועדו להיות מבודדים עוברים חמצון לסיליקון אוקסיד. יסודות שונים מוספים לסיליקון כדי להפוך אותו למוליך חשמל.

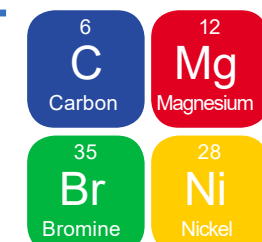


בדיל ועופרת משמשים להלחמות בחיבורים האלקטרוניים. בטלפונים נטולי עופרת ההלחמה נעשית באמצעות תערובת של בדיל, נחושת וכסף.



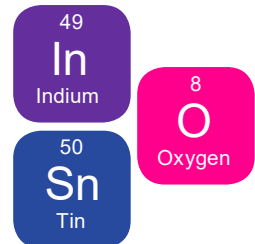
מארז

בדרך כלל המארז בנוי מסגסוגות של מגנזיום. ולעיתים מפלסטיק. כאשר מדובר בפלסטיק, הוא מכיל מעכבי בעירה שברובם מכילים ברומ. כמו כן משולב במארז ניקל, המפחית הפרעות אלקטרומגנטיות.



מסך

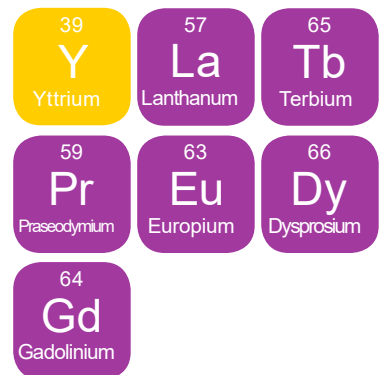
אינדיום בדיל אוקסיד היא תערובת של תחמוצות המשמשות ליצירת הפילם השקוף שמוליך חשמל וחשוב להפעלה של מסכי המגע.



זכוכית המסך:
הזכוכית ברוב הסמרטפונים היא מסוג אלומיניום סיליקט המורכבת מתערובת של אלומיניום חמצני (Al_2O_3) וצורן חמצני (SiO_2). זכוכית זו מועשרת ביוני אשלגן שעוזרים לחזק הזכוכית.

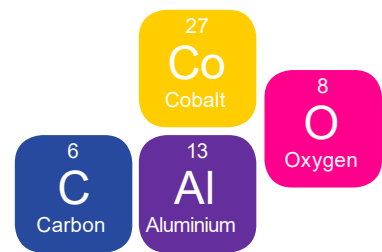


מגוון תרכובות של מתכות נדירות ממשפחת הלנטנידים, אחראיות ליצירת הצבעים במסך הסמרטפון. חלק מהתרכובות גם מגינות מפני חדירה של קרני UV לתוך המכשיר.



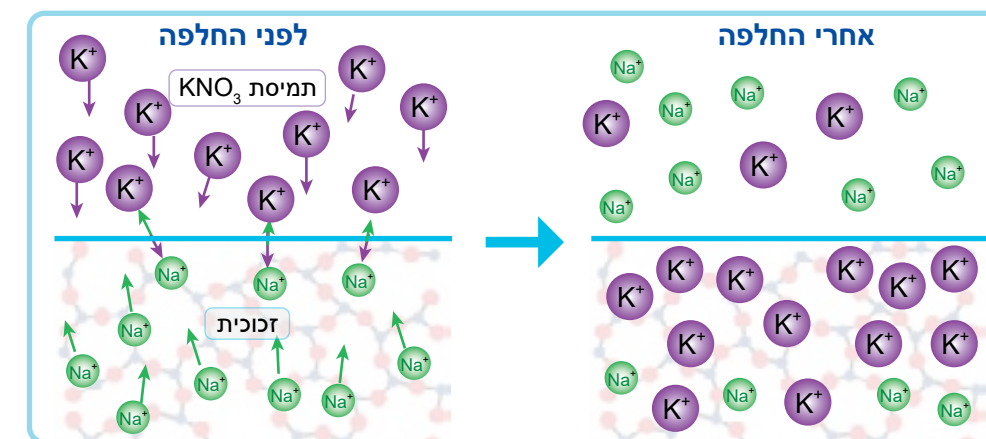
סוללה

הסוללה בסמארטפון היא מסוג ליתיום יון. האלקטרודה החיובית בנויה מליתיום קובלט אוקסיד, $LiCoO_{2(s)}$, והאלקטרודה השלילית בנויה מגרפיט, C(s).



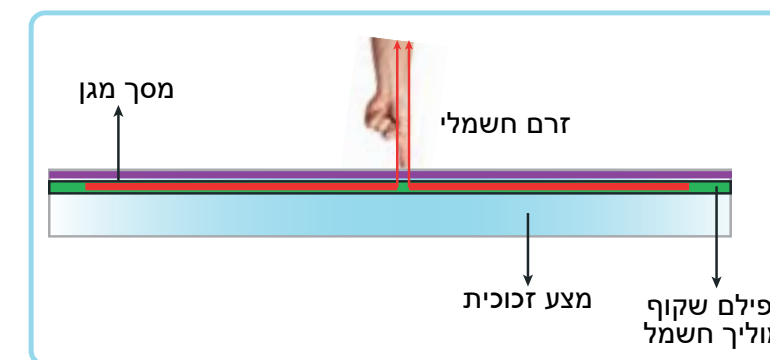
המסך והזכוכית

מסכי המגע מיוצרים בעיקר מזכוכית אלומיניום סיליקט, תערובת של תחמוצת אלומיניום וסיליקון דו-חמצני, אשר לאחר מכן מונחת באמבט חם של מלח מותר מסוג אשלגן חנקתי. מטרת פעולה זו היא לאפשר ליוני נתרן קטנים יותר לעזוב את הזכוכית וליוני אשלגן גדולים יותר לתפוס את מקומם. האחרונים תופסים מקום רב יותר ונלחצים זה לזה כאשר הזכוכית מתקררת, ובתוך כך נוצרת שכבה של לחץ דחיסה על הזכוכית המגבירה את חוזקה ועמידותה מפני נזק מכני. זכוכית זו חזקה מאוד ונקראת זכוכית גורילה.



איור 2. הכנת זכוכית גורילה

זכוכית, בהיותה מבודדת, אינה מוליכה חשמל. אף על פי שהזכוכית מכילה יונים, הם מאותרים במקומם ומונעים את זרימת החשמל. לכן יש לצבוע את מסך הזכוכית בשכבה שקופה דקה של חומר מוליך, לרוב תחמוצת בדיל אינדיום, אשר בדרך כלל מונחת בפסים דקים של שתי וערב כדי ליצור תבנית רשת. הרשת המוליכה הזאת פועלת כקבל, ומאחסנת מטענים חשמליים. כשנוגעים במסך, יש מעבר של מעט מטענים לאצבע. המסך רושם ירידת מתח כאשר מטען חשמלי זה נכנס לאצבע, ומיקום ירידת המתח מעובד על ידי תוכנה וזו מורה על הפעולה המתקבלת. הזרם החשמלי הזעיר הזה נכנס לאצבע מכיוון שהעור הוא מוליך חשמלי - בעיקר בשל השילוב של מלח ולחות בקצות האצבעות. כך הופך הגוף לחלק מהמעגל, שכן מעט חשמל זורם בגוף בכל פעם שאנחנו משתמשים במסך המגע בטלפון. כמה מהיסודות Rare earths נמצאים גם הם בשכבה הדקה. יסודות אלו נמצאים בכמויות קטנות מאוד. הם בולעים את האור נראה ופולטים את הצבעים המוצגים על המסך.



איור 3. מסך מדע קיבולי

האלקטרוניקה

יש מגוון רחב של יסודות ותרכובות המשרתים את האלקטרוניקה של הסמארטפון. השבב, מעבד הטלפון, עשוי מסיליקון טהור, אשר נחשף לחמצן ולחום על מנת לייצר ציפוי של סיליקון חמצני על פני השטח. לאחר מכן מסירים חלקים משכבת הצורן החמצני כדי לאפשר מעבר של זרם. הסיליקון אינו מוליך חשמל בלי להיות "מסומם" ביסודות אחרים; תהליך זה כרוך בהפגזת הסיליקון על ידי מגוון יסודות,

כמו זרחן, אנטימון, ארסן, בורון, אינדיום או גליום. סוגים שונים של מוליכים למחצה (P או N) מיוצרים בהתאם ליסוד ש"סומם".

הרכיבים המיקרו-חשמליים והחיווט בטלפון מורכבים בעיקר מנחושת, זהב וכסף. טנטלום משמש אף הוא כמרכיב עיקרי במיקרו-קבלים. להלחמה של הרכיבים האלקטרוניים משתמשים בשנים האחרונות בשילוב של בדיל, כסף ונחושת.

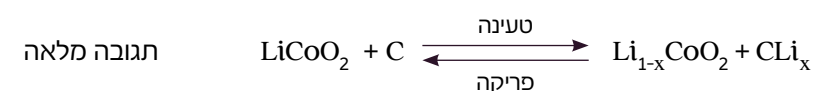
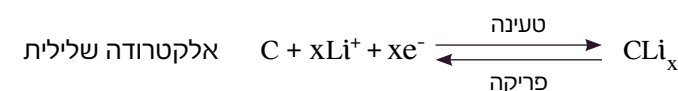
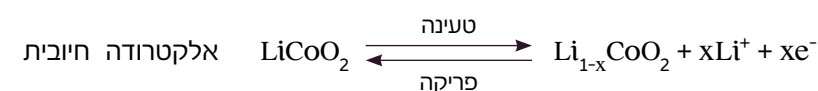
המיקרופון והרמקול של הטלפון מכילים מגנטים, שהם בדרך כלל סגסוגות ניאודימיום-ברזל-בורון, אם כי לעיתים קרובות קיימים גם דיספרוזיום ופריזודימיום בסגסוגת. אלה נמצאים גם ביחידת הרטט של הטלפון.

הסוללה

סוללת ליתיום-יון תעשייתית מפעילה את רוב הסמארטפונים. היתרון שלה הוא צפיפות אנרגיה גבוהה מאוד, ויכולת לקיים מספר רב של מחזורי פריקה וטעינה.

בסוללה המורכבת מקתודת $\text{LiCoO}_{2(s)}$ ומאנודת גרפיט ($\text{C}_{(s)}$), בתהליך הפריקה, יוני הליתיום יוצאים מהגרפיט (אנודה), עוברים דרך האלקטרוליט שאינו מימי ונכנסים בין שכבות הקובלט אוקסיד. הקובלט משנה את דרגת החמצון שלו והקתודה הופכת לליתיום קובלט אוקסיד. תהליך זה מלווה במעבר אלקטרונים מהאנודה לקתודה דרך המעגל החיצוני ומאפשר הפעלת מכשיר כלשהו.

בטעינה, יוני הליתיום יוצאים מליתיום קובלט אוקסיד וחוזרים דרך האלקטרוליט למבנה השכבתי של הגרפיט, תוך כדי שחרור אלקטרונים. למעשה, סוללת ליתיום-יון מבוססת על מחזורי אינטרקלציה (החדרה) ודה-אינטרקלציה (שחרור) של יוני ליתיום לתוך מבנה שכבתי. חצאי התגובות המתרחשות באנודה ובקתודה בטעינה ובפריקה מופיעים להלן:



סוללת ליתיום-יון זיכתה את המדענים אקירה יושינו, מייקל סטנלי ויטינגהם וג'ון גודאינף **בפרס נובל לכימיה לשנת 2019**. בנימוקים לפרס נכתב בין היתר: "הם יצרו עולם נטען. הסוללה הקלה, הנטענת והעוצמתית הזו נמצאת כיום בשימוש בהכול, מטלפונים ניידים למחשבים ניידים ועד למכוניות חשמליות. היא יכולה גם לצבור אנרגיה רבה ממקורות סולריים ומאנרגיית רוח, ובכך מאפשרת חברה נטולת דלקים [...] הסוללות הללו חוללו מהפכה בחיינו מאז שנכנסו לראשונה לשוק ב-1991, הן הציבו את היסודות לחברה אלחוטית וחופשית מדלקים ומהוות תרומה משמעותית למין האנושי [...]"

לסיכום, ללא ספק הטלפון החכם - סמארטפון - הוא מכשיר המנצל מגוון רחב של יסודות, ונמנה עם המכשירים שיכולים לפאר ולהלל את מקצוע הכימיה.

מקורות

<https://www.independent.co.uk/news/science/mobile-phones-elements-periodic-table-endangered-chemicals-st-andrews-a8739921.html>

<https://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/>

<https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2014-2015/smartphones.html>

<https://www.sciencealert.com/watch-the-chemistry-of-a-smartphone>

<https://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3710873,00.html>

<https://www.energy.gov/eere/articles/how-does-lithium-ion-battery-work>