

פְּרוֹבֶּסְקִיט-הַדּוֹר הַבֹּא שֶׁל תַּאִים סוֹלָרִים

Lioz Etgar*

המכון לכימיה, האוניברסיטה העברית בירושלים

סוקר צעיר

HILEL

גיל: 13



האפקט הפוטואלקטרי (Photoelectric effect)

פגיעה של אנרגיית אור גורמת ליצירת מטענים חיוביים ושליילים-חורים ואלקטרונים בחומר, בהתאמה, אשר בהפרדתם ניתן לייצר חשמל.

מציאת פתרונות לייצור אנרגיה בלתי מזהמת היא נושא בעל חשיבות עליונה במאבק בהתחממות העולמית. תאים סולריים המייצרים אנרגיה חשמלית מאור השמש הם הפתרון המיטבי לכך. במאמר זה אסביר מהו תא סולרי, למה הוא משמש וכיצד הוא פועל. היכולת לייצר חשמל מאור השמש מתקבלת על ידי חיבור של כמה חומרים בעלי תכונות שונות אשר מסוגלים להפיק חשמל מאור השמש. במאמר אציג תגלית אחרונה פורצת דרך בתחום זה: חומר חדש הנקרא פְּרוֹבֶּסְקִיט (Perovskite), אשר שינה את כללי המשחק בכל הקשור לייצור אנרגיה חשמלית מאור השמש. הפרובסקיט מוזיל באופן משמעותי את עלות התאים הסולריים. נוסף על כך חומר זה פותח צוהר לשימושים שלא היו אפשריים קודם לכן בתאים סולריים כגון חלונות סולריים; הטענת טלפונים ניידים ומכוניות ועוד.

מהו תא סולרי?

תא סולרי מְשַׁתֵּת על הַאֶפֶקְט הַפּוֹטוֹאֶלְקְטְרִי. אפקט זה מבוסס על יצירת מטענים שליליים (אלקטרונים) וחיוביים (חורים) בתוך חומר אשר בולע את האור. חומר זה נקרא

חומר מוליך למחצה (material Semiconductor)

חומר הרגיש לאור. בזמן
הארה החומר מוליך, ובחושך
החומר מבודד.

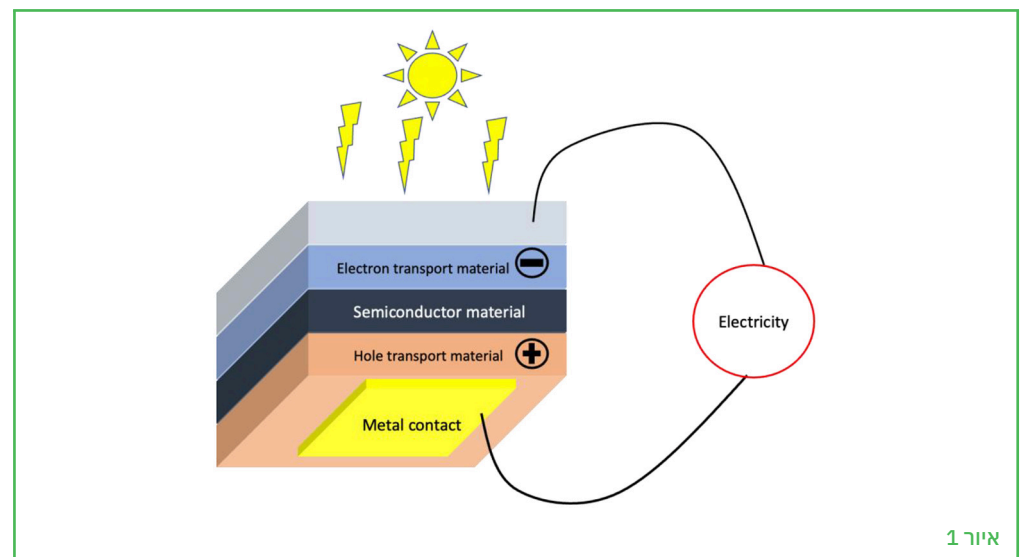
מוליך למחצה. עקב בליעת אור בחומר המוליך למחצה נוצרים אלקטרונים וחורים אשר נמשכים זה לזה במהירות, ופולטים חזרה אנרגיה בצורת אור (תהליך הנקרא רֶקוּמְבִינְצִיָה). אם נוכל למנוע את חיבור האלקטרונים והחורים, ניתן יהיה להפריד ביניהם ולייצר חשמל. זהו העיקרון שעליו מבוססת פעילות התא הסולרי.

איור 1 מציג סכמה של התא הסולרי-התא בנוי מחומר מוליך למחצה אשר בולע את אנרגיית האור. מעל לחומר המוליך למחצה ומתחתיו נמצאים שני חומרים נוספים שתפקידם להוליך את האלקטרונים והחורים, ומכונים בהתאמה חומר מוליך אלקטרונים וחומר מוליך חורים. התא הסולרי עצמו נבנה על גבי מצע זכוכית, כפי שניתן לראות באיור.

אור השמש עובר דרך הזכוכית ופוגע בשכבת החומר המוליך למחצה. עקב כך נוצרים בחומר זה כאמור אלקטרונים וחורים. כדי למנוע את חיבורם יחד (תהליך הרקומבינציה), החומר אשר מוליך את האלקטרונים מושך אליו את האלקטרונים, ואלו החומר אשר מוליך את החורים מושך אליו את החורים. כתוצאה מכך נוצרת הפרדת מטענים, וכל מטען זורם למגע אחר. במגעים השונים מחולצים המטענים לחוטי החשמל המחוברים לתא הסולרי, וניתן להשתמש בחשמל זה לכל מטרה.

איור 1

עיקרון פעולת התא הסולרי.
ניתן לראות את הכיוון שממנו פוגע אור השמש, וכן מהיכן מחוברים החוטים לתא הסולרי כדי לחלץ את המטענים שיוצרים את הזרם החשמלי.
מקרא: Electricity = חשמל
= Metal contact מגע חשמלי
= Hole transport material חומר מוליך חורים
= Semiconductor material חומר מוליך למחצה
Electron transport material = חומר מוליך אלקטרונים.



מהו פרובסקייט ומה כל כך מיוחד בו?

לאחרונה התגלה חומר מוליך למחצה שנקרא **פרובסקייט**. חומר זה פועל בצורה מצוינת בתא הסולרי. הוא פשוט מאוד להכנה, ולכן גם מאפשר יצירת תא סולרי בעלות נמוכה יחסית לעלויות התאים הסולריים הקיימים כיום. זהו אחד היתרונות העיקריים לפיתוח טכנולוגיית הפרובסקייט.

חומר זה, שהוא במקורו **מינרל**, התגלה לראשונה על ידי המינרולוג הגרמני גוסטב רוז בשנת 1839, ושמו ניתן לו על שם המינרולוג הרוסי לב פרובסקי, אשר גילה את המבנה הראשוני של החומר. החומר המקורי מורכב מאטומים של כמה יסודות: קלציום (Ca), טיטניום

פרובסקייט (Perovskite)

שם של חומר מוליך למחצה המשמש בתאים סולריים.

מינרל (Mineral)

חומר שנוצר בתהליכים טבעיים, והוא בעל הרכב אחיד.

(Ti) וחמצן (O). אלה הם יסודות כימיים המצויים בטבע, אשר יחד יכולים להרכיב חומרים שונים ובהם הפרובסקייט, המכונה גם קלציום טיטנאט ונוסחתו הכימית CaTiO_3 .

אך הפרובסקייט המקורי אינו מתאים לשימוש בתאים סולריים, מאחר שאין לו התכונות הנדרשות לכך, כפי שהוצגו בפרק הקודם למאמר. דוגמאות לתכונות הנדרשות לצורך התאמה לשימוש בתאים סולריים הן בליעת אור בטווח רחב וכן הולכה טובה תחת הָאָרְת אור השמש, תכונות אשר הפרובסקייטים המקוריים, המבוססים על חמצן, אינם מצטיינים בהן.

לפני כמה שנים אירעה תגלית פורצת דרך כאשר פרובסקייט שאינו מבוסס על חמצנים הוכן במעבדה, וְנָסָה בכמה תאים סולריים [2]. פרובסקייט זה הראה תכונות מעניינות המאפיינות מוליך למחצה ובהן יְלָת הולכת מטענים באור מצד אחד ומנגד יכולת להיות מבודד בחושך, וכן בליעת אור בטווח רחב. תכונות מְעִין אלה הן אטרקטיביות מאוד עבור תאים סולריים.

מאז אותה תגלית, השימוש בחומר הפרובסקייט צבר תאוצה במהירות, והתגלו תכונות רבות נוספות המאפיינות אותו כגון יכולתו לבלוע את אור השמש באנרגיות שונות על ידי שינוי הכימיה של החומר [3]. כיצד זה עשוי לשמש כיתרון עבורנו? אם ביכולתנו להחליט איזו אנרגיה יבלע החומר שלנו מאור השמש, ניתן יהיה למשל לתכנן את הצבע של התא הסולרי, ולהכין תא חצי שקוף אשר בולע חלק מהאור, ומעביר את חלקו האחר. שימוש מעניין לכך הוא חלונות לבניינים אשר יהוו חלון מצד אחד ותא סולרי מהצד האחר. זוהי רק דוגמה אחת לדרכי השימוש שהפרובסקייט מאפשר בתאים הסולריים.

דבר מעניין נוסף בפרובסקייט הוא היכולת להכינו בטמפרטורות נמוכות. מדוע זה חשוב ומשנה? ראשית, טמפרטורה נמוכה מוזילה את עלות הייצור באופן משמעותי, וזהו מרכיב בעל חשיבות עליונה. שנית, הכנת התא הסולרי בטמפרטורה נמוכה של כ-80 מעלות צלזיוס מאפשרת להרכיב תאים סולריים גמישים. גמישות תאים סולריים פותחת את האפשרות להשתמש בהם במגוון תחומים ויישומים דוגמת תעשיית הרכב; חקלאות; טלפונים ניידים ועוד.

תא סולרי מבוסס פרובסקייט

איור 2 מתאר ציור סכמטי של התא הסולרי, והשכבות השונות הקיימות בו.

כעת נתאר באופן איכותי את הכנת התא הסולרי, ונפרט על אודות תכונותיו. התא הסולרי מבוסס על **מתכות מחומצנות**, ותהליך הכנתו כולל הדפסה של כמה שכבות עשויות **ננו-חלקיקים של מתכות מחומצנות**. מבנה מְעִין זה יוצר מצע פּוֹרֹזִיבִי (מלא חורים קטנים) ודק מאוד (בעובי כמה מיקרומטרים, כאשר מיקרומטר = 0.000001 מטר). אל תוך מצע זה מורחים את הפרובסקייט, אשר מחלחל דרך המצע ומשלים את התא הסולרי. תא סולרי כזה יכול לשמש למגוון טכנולוגיות, בין השאר עבור תאים בעלי יכולת הפקת אנרגיה ביעילות גבוהה וכן לתאים בעלי שקיפות וצבע מסוים, לתחום הבנייה למשל.

מתכות מחומצנות (Oxidized metals)

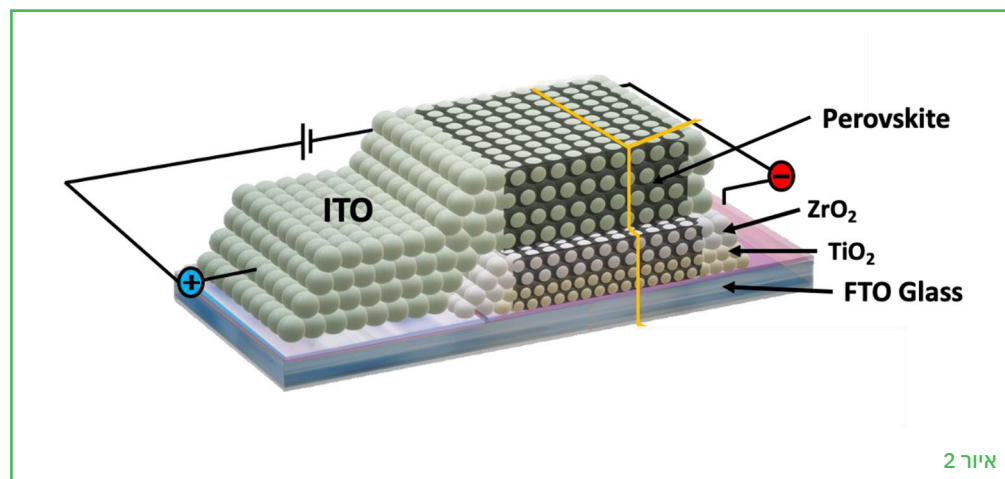
מתכות המכילות
אטומי חמצן.

ננו-חלקיקים של מתכות מחומצנות (Nanoparticles (NPs) of Oxidized metals)

חומר בגודל 0.000000001 מטר.
חלקיקים מזעריים
שניתן לראותם רק
במיקרוסקופ בעל רזולוציה
גבוהה, המתגבשים לחומר
בעל אלפי חורים קטנים
(פורוזיבי), ובכך יוצרים שטח
פנים גדול מאוד לספיחת
חומר נוסף אליהם.

איור 2

מבנה התא הסולרי. מבנה סכמטי של התא הסולרי המציג את השכבות השונות המעורבות בפעילות התא הסולרי. נלקח מהמאמר של [1] Schneider et al.



איור 2

בחינת יעילות תאים סולריים מבוססי פרובסקייט

כדי למדוד את יעילותם של התאים הסולריים נעשה שימוש במכשיר המדמה את אור השמש. התאים מוקרנים באור מנורה אשר לה טווח אנרגיות הדומה לטווח האנרגיות של אור השמש, ובעל עוצמה המדמה את השמש בשעות שונות ביום [4]. במהלך המדידה מופעל על התא הסולרי מתח, ומודדים את הזרם שהתא מייצר. בעזרת נתונים אלה ניתן לקבל אופיין (גרף לתיאור תכונה או תהליך פיזיקליים) זרם-מתח, שממנו אפשר לחשב את יעילות התא; המתח שהוא מספק; הספקו ונתונים נוספים.

גורם חשוב בבדיקת טכנולוגיה כלשהי ותאים סולריים בפרט, הוא יציבותם. אנו מעוניינים לוודא כי התאים הסולריים שאנו מפתחים יוכלו לעבוד למשך 20 שנים לפחות, ללא תקלות. כדי להבטיח זאת לא נוכל לחכות את כל משך השנים הללו. לכן, ישנם מבחני יציבות של התאים הסולריים, אשר מספקים הערכה לגבי יכולתו של התא הסולרי לעבוד במשך 20 שנים בתנאים מחמירים. באיור 3 ניתן לראות מעקב אחר יציבותם של תאים סולריים לאורך יותר מ-40 ימים, אשר מקנה הערכה טובה שלפיה תאים אלה יוכלו לפעול כ-20 שנים ללא תקלות. באיור מתוארים כמה פרמטרים חשמליים שניתן לעקוב אחריהם במהלך המדידה כגון (משמאל למעלה, נגד כיוון השעון): זרם התא במתח אפס J_{sc} ; מתח התא במעגל פתוח V_{oc} ; יעילות המרת האנרגיה של תאים PCE, ופקטור האידיאליות FF.

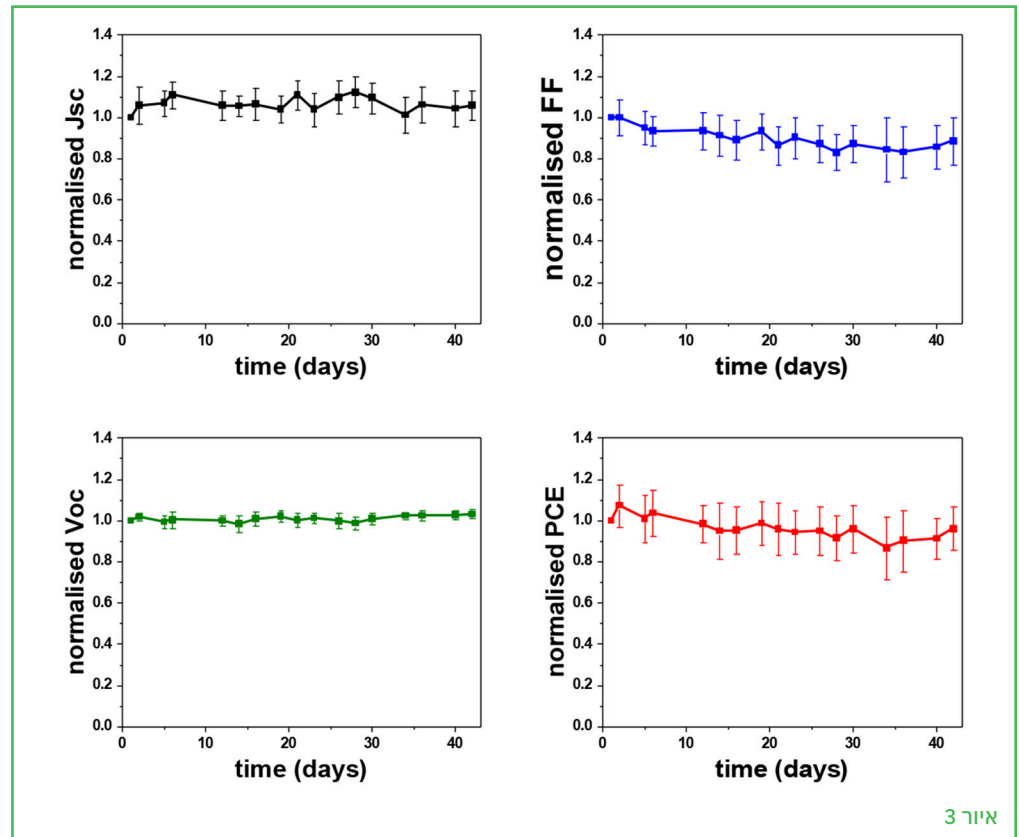
תוצאות אלה מלמדות על ההבטחה הרבה הטמונה בטכנולוגיה זו, אשר נוסף על יתרונותיה הרבים מדגימה יציבות גבוהה.

סיכום

בשנים האחרונות, אנרגיות מתחדשות ממלאות תפקיד מרכזי בקידום האנושות ובהן האנרגיה הסולרית ואנרגיית הרוח. בתחום האנרגיה הסולרית, תאים סולריים מבוססי פרובסקייט הגיעו בתוך מספר שנים מועט ליעילות גבוהה, המציבה טכנולוגיה זו כמובילה מבין טכנולוגיות האנרגיה הסולרית הקיימות. החוקרים משוכנעים כי טכנולוגיה ייחודית זו יכולה לשמש לכמה יישומים ובהם תאים חצי שקופים ותאים המסוגלים להתחבר לתאים סולריים מטכנולוגיה קיימת. על ידי כך אנו 'מרוויחים' את יעילותם של שני סוגי התאים הסולריים.

איור 3

יציבות התאים הסולריים
למשך יותר מ-40 ימים. נלקח
מהמאמר של
[1] Schneider et al.



מאמר המקור

Schneider, A., Efrati, A., Alon S., Sohmer, M., and Etgar, L. 2020. Green energy by recoverable tripleoxide mesostructured perovskite, photovoltaics. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 117:31010–7. doi: 10.1073/pnas.2013242117.

מקורות

1. Schneider, A., Efrati, A., Alon S., Sohmer, M., and Etgar, L. 2020. Green energy by recoverable tripleoxide mesostructured perovskite photovoltaics. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 117:31010–7. doi: 10.1073/pnas.2013242117
2. Etgar, L. 2018. The merit of perovskite's dimensionality; can this replace the 3D halide perovskite? *Energy Environ. Sci.* 11:234–42. doi: 10.1039/C7EE03397D
3. Cohen, B. E., Li, Y., Meng, Q., and Etgar, L. 2019. Dion–Jacobson two-dimensional perovskite solar cells based on benzene dimethan ammonium cation. *Nano Lett.* 19:2588. doi: 10.1021/acs.nanolett.9b00387
4. Grancini, G., Roldan-Carmona, C., Zimmermann, I., Mosconi, E., Lee, X., Martineau, D, et al. 2017. One-Year stable perovskite solar cells by 2D/3D interface engineering. *Nat. Commun.* 8:15684. doi: 10.1038/ncomms15684

פורסם אונליין: 16 ביוני 2023

נערך על ידי: Idan Segev

מנחה מדעית: Yachel Baker

Front. Young Minds. (2023) Etgar L. פְּרוֹבֶּקְיִיט-הַדוֹר הַבֵּא שֶׁל תַּאִים סוֹלְרִיִּים. doi: 10.3389/frym.2023.1091175-he

Etgar L. (2023) A New Material For Better, Cheaper Solar Energy. Front. Young Minds 11:1091175. doi: 10.3389/frym.2023.1091175

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זכויות יוצרים © 2023 © Etgar 2023. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקר צעיר

HILEL, גיל: 13

אני גר בתל אביב, לומד בכיתת מחוננים ואוהב לשלב בין אומנות למדעים. זכיתי באולימפיאדות ארציות במתמטיקה, ואני לומד בתוכנית דה-יונצ'י באוניברסיטת תל אביב. הפסנתר מלווה אותי מגיל צעיר, אני מלחין, מנגן בכלים שונים ושר בהרכב מוזיקלי.

הכותב

LIOZ ETGAR

גדלתי בקריית טבעון ולמדתי בה. בצבא שָׁרְתִי כקצין ביחידה מובחרת של גולני. המשכתי ללמוד בטכניון: תואר ראשון בהנדסה כימית, ותארים שני ושלישי בכימיה פיזיקלית. את מחקר הפוסט-דוקטורט, בתחום תאים סולריים, ביצעתי בשווייץ, אצל מומחה עולמי בתחום. לאחר מכן הקמתי קבוצת מחקר באוניברסיטה העברית בתחום תאים סולריים חדשניים, וכיום אני פרופ' המכהן כראש החוג לכימיה באוניברסיטה. מאז ומעולם גיליתי עניין באופן שבו דברים שונים פועלים, והסתקרנתי לגבי הסיבות למגוון תופעות שאנו נתקלים בהן. אתם עשויים להתפלא שהייתי ילד שובב, שאהב מאוד לשחק כדורגל וכדורסל. אחד הדברים שאני נהנה מהם עד היום הוא עיסוק בספורט. *lioz.etgar@mail.huji.ac.il

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK