

תאים סולריים מפלסטיק: הבנת התוסף המיוחד

Jacobus J. van Franeker and René A. J. Janssen

המכון ההולנדי לחקר פולימרים, האוניברסיטה הטכנולוגית של איינדהובן, איינדהובן, הולנד

סוקרים צעירים

FRENCH
AMERICAN
INTERNATIONAL
SCHOOL,
גיל: 12-13



תאים סולריים משתמשים באור השמש הזָמין לכול כדי לייצר חשמל. כיום, ייצור חשמל מהשמש איננו זול, מאחר שהפְנָלים הסולריים (מערכים של תאים סולריים, בדרך כלל כמה עשרות תאים, שמחוברים יחד) הם יקרים יחסית. כעת, דמיינו שהיינו יכולים להוזיל את העלויות על-ידי הדפסת תאים סולריים כמו שמדפיסים עיתונים! אנו יכולים לעשות בדיוק את זה עם תאים סולריים מפלסטיק. במאמר זה נסביר את עקרונות הפעולה הבסיסיים של תאי השמש הפלסטיים החדשניים האלה, ואז נראה כיצד תוסף מיוחד לִדְיוֹ של ההדפסה יכול להכפיל פי שלושה את היעילות של האנרגיה הסולרית. התפקוד של תוסף מיוחד כזה הוא כמעט כמו מעשה קסם, אבל בתור מדענים אנחנו יודעים שקסם אמיתי מתרחש לעיתים רחוקות, ופשוט צריך היה להבין מדוע וכיצד זה פועל. זה היה הנושא של המחקר האחרון שלנו, ובמאמר הנוכחי נתאר כיצד גילינו את הסוד של התוסף המיוחד.

חשמל סולרי זול

בעודכם קוראים את המאמר הזה, המחשב שלכם צורך חשמל. מהיכן מגיע החשמל הזה? בשנת 2013, בסביבות 67% מהחשמל שנצרך בארצות הברית יוצר באמצעות שריפה של פחם או של גז טבעי [1]. מה יקרה אם אספקת הפחם והגז הטבעי תאזל? ומה לגבי זיהום האוויר ושינויי האקלים שנוצרים על-ידי שריפת גז ופחם? יִשְׁנוֹ מקור אנרגיה ידידותי בהרבה: השמש! והכי טוב, הוא בחינם! השמש תמיד זורחת ומספקת לכדור הארץ אנרגיה בְּצוּרָת אור,

אפילו בימים מעוננים. פנלים סולריים ממירים את האור הזה לחשמל, אולם הם עדיין יקרים. אם פנלים סולריים היו זולים יותר, יכולנו להשתמש בכל הקיבולת שהשמש מאפשרת עבור ייצור חשמל, ולייצר חשמל זול!

הדפסת תאים סולריים מפלסטיק

מדענים מצאו לאחרונה דרך חדשה לייצר פנלים סולריים: להדפיס אותם! רוב האנשים חושבים על הדפסה של דברים כמו ספרים, אולם אנחנו יכולים גם להשתמש בסוג מיוחד של מדפסות כדי להדפיס פריטים שעשויים מפלסטיק. פלסטיקים עשויים מפולימרים, שהם מולקולות ארוכות מאוד. כשמסתכלים עליהם דרך מיקרוסקופ חזק, הפולימרים נראים כמו ספגטי מבושל, אולם למעשה הם קטנים פי מיליון מספגטי. כדי להדפיס פלסטיקים פשוט צריך להחליף את מחסנית הדיו במדפסת הביתית שלכם ב"דיו פלסטיק". **דיו** פלסטיק הוא תערובת של שני פולימרים שמומסים בנוזל. בעת ההדפסה הנוזל ושני הפולימרים יוצרים שכבה דקה. עבור תאים סולריים אנחנו משתמשים בסוג מיוחד של **פולימר** שיכול להמיר אור שמש לחשמל.

תאים סולריים מפלסטיק יכולים להיות מודפסים על-גבי גלילים גדולים של רדיד גמיש. לאחרונה הודפסו פנלים סולריים באורך של 100 מטרים [2]. שימוש בפנלים סולריים זולים אלה מאפשר להמיר רק כ-1.5% מאנרגיית אור השמש לחשמל. הנצילות הזו היא עדיין נמוכה יחסית לפנלים הסולריים היקרים יותר שניתן לקנות כיום, אשר יכולים להמיר כ-15%-20% מאנרגיית השמש לחשמל. אבל העתיד נראה מבטיח. במעבדות ברחבי העולם תאים סולריים קטנים מפלסטיק כבר מיוצרים עם נצילות גבוהות בהרבה, עד לסביבות 12% [3]. אחת השיטות להגדיל את הנצילות היא על-ידי הוספת **תוסף** מיוחד לדיו הפלסטיק לפני ההדפסה. התוסף הזה התגלה במקרה [4], אולם אם אנחנו רוצים לשפר עוד יותר את הנצילות של הפנלים הסולריים מפלסטיק, עלינו לדעת מדוע התוסף המיוחד הזה עובד. הבנת אופן הפעולה של פנלים סולריים איננה פשוטה. מדענים רבים עבדו על הנושא הזה במשך שנים. בשתי הפסקאות הבאות נסביר את הבסיס לאופן הפעולה של תאים סולריים, אולם אם אתם מסוקרנים יותר ללמוד על הסודות של התוסף המיוחד, אתם יכולים לדלג על הפסקאות האלה ולקרוא על חקרתינו ומצאינו בהמשך המאמר.

כיצד תאים סולריים מפלסטיק ממירים אור לחשמל?

כדי לענות על השאלה החשובה הזו עלינו להתבונן על האופן שבו מיוצרים תאים סולריים מפלסטיק. תאים סולריים מפלסטיק מורכבים משכבת פלסטיק על-גבי זכוכית או על-גבי רדיד גמיש. במעבדה, אנחנו משתמשים בצלחות זכוכית עם מגע חשמלי שקוף, שמהווה את הקוטב החיובי (+) במעגל החשמלי. על-גבי המגע הזה אנחנו שמים את הדיו עבור **השכבה הפעילה**, שהוא החלק בתא הסולרי אשר ממיר את אור השמש לחשמל. דיו זה מכיל שני פולימרים, אחד ירוק וארוך והשני אדום וקצר יותר. הפולימרים יוצרים שכבה מעורבת, כפי

דיו (Ink)

תערובת של חומרים נוזליים ומוצקים אשר יכולה להיות מודפסת על-גבי נייר, או לצפות את הנייר. במהלך ההדפסה או הציפוי הנוזל מתנדף והמוצקים נשארים על פני המשטח.

פולימר (Polymer)

מולקולה ארוכה שנראית כמו ספגטי מבושל, אבל היא קטנה פי מיליון. פלסטיקים מכילים פולימרים.

תוסף (Additive)

תוסף הוא כימיקל קטן אשר יכול להתווסף לדיו, אך אינו נשאר בתא הסולרי לאחר שהדיו מתייבש.

שכבה פעילה

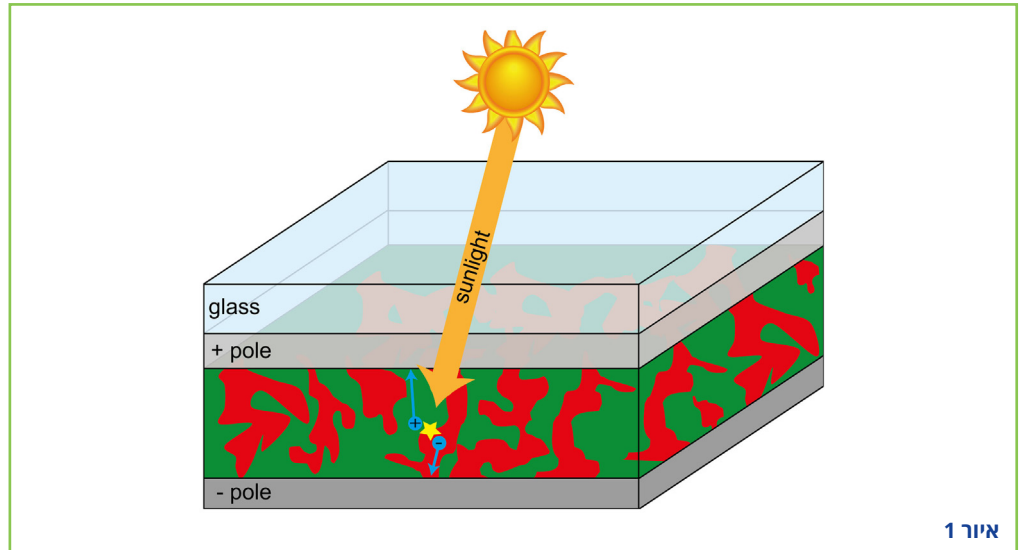
(Active layer)

השכבה החשובה ביותר בתא סולרי מפלסטיק. בשכבה זו אור השמש מומר למטען חשמלי.

איור 1

תרשים של תא סולרי מפלסטיק. אור השמש

(sunlight) יוצר מטענים חיוביים (+) ושיליים (-) בממשק שבין שני הפולימרים. המטען השילי (-) נע אל הקוטב השילי (-pole) של התא הסולרי, והמטען החיובי (+) נע אל הקוטב החיובי (+ elop). קטבים אלה פועלים בדיוק כמו הקטבים בסוללה, אולם מקור האנרגיה שלהם הוא השמש, ולכן הם ממשיכים לפעול כל עוד השמש זורחת ואור השמש מאיר על התא. זכוכית = Glass



איור 1

שניתן לראות באיור 1. מעל לשכבה זו אנו שמים שכבת מתכת אשר מתפקדת בתור הקוטב השילי (-) של המעגל. לאחר מכן אנו מסובבים את כל אוסף השכבות מלמעלה למטה כך שאור השמש יכול להאיר דרך הזכוכית אל תוך השכבה הפעילה. המבנה המשורטט באיור 1 של פולימרים ירוקים ואדומים הוא בדיוק המבנה הרצוי! ישנו שטח מגע רב, שנקרא ממשק, בין שני הפולימרים האלה. שטח זה הוא הכרחי מאחר שאור השמש יוצר מטענים חשמליים

רק באזורים שבהם שני הפולימרים נוגעים זה בזה. כאשר אור השמש (הכוכב הצהוב באיור 1) נבלע, נוצרים מטענים חשמליים חיוביים (+) ושיליים (-). בפרט, בליעת אור השמש על-ידי הפולימר הירוק גורמת לכך שהפולימר הירוק משחרר אלקטרון, ונשאר עם מטען חיובי (+), והאלקטרון הזה עובר אל הפולימר האדום שכעת מכיל מטען שלילי (-). במילים אחרות, הפולימר הירוק תורם אלקטרון ולכן הוא מכונה "תורם" (Donor), והפולימר האדום מקבל אלקטרון ולכן הוא מכונה "קולט" (Acceptor). באופן טבעי, מטעני ה-(+) וה-(-) מושכים זה את זה והאנרגיה אובדת מאחר שהאלקטרונים נתקעים ואינם מצליחים לזרום במערכת. בתאים סולריים מפלסטיק, הפולימרים הירוקים והאדומים גורמים לכך שהמטענים יכולים להיות מופרדים, ואז המטענים החיוביים והשליליים נעים לקטבי ה-(+) וה-(-). כעת, אור השמש הותמר לתנועה של מטענים, כלומר לחשמל! חשבו עד כמה זה יעיל - אנחנו משתמשים באור השמש החופשי ובשני פלסטיקים זולים כדי לייצר אנרגיה חשמלית!

האם אנחנו יכולים לראות את הפולימרים הקטנים האלה?

הפולימרים הירוקים והאדומים הם קטנים כל כך שאנו לא מסוגלים לראות אותם בקלות, אפילו כאשר אנחנו משתמשים במיקרוסקופ רגיל. אולם, אנחנו יכולים לראות אותם בעזרת **מיקרוסקופ אלקטרוני**, אשר לא עושה שימוש בקרני אור אלא באלקטרונים כדי "לראות" את התאים הסולריים. באיור 2, אנחנו מראים תמונות של תאים סולריים שצולמו באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני. אלו הן תמונות שמציגות מבט מלמעלה על השכבה הפעילה של התא הסולרי. שני הפולימרים מוצגים בתור אזורים כהים ובהירים ולא בתור אדומים וירוקים מאחר שאלקטרונים לא מבחינים בצבעים (הם "עיוורי צבעים"). משמאל ניתן לראות תא סולרי

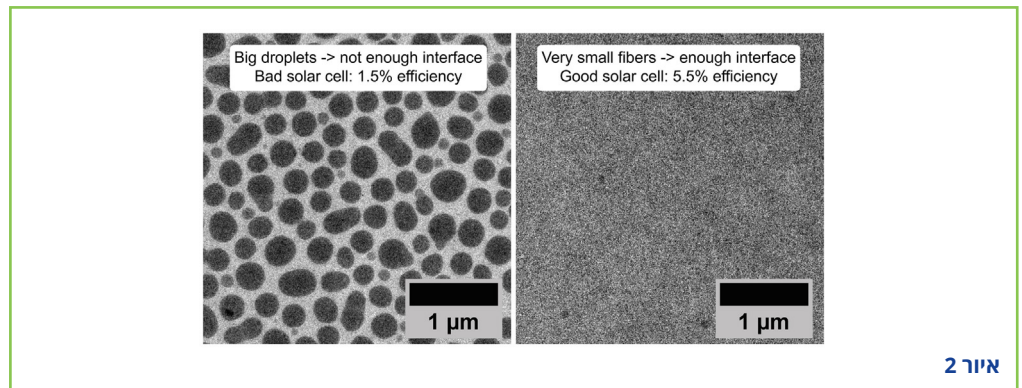
מיקרוסקופ אלקטרוני (Electron microscope)

מיקרוסקופ רגיל עושה שימוש באור כדי לראות דברים קטנים. אולם אם דברים קטנים מדי מכדי להיראות בעזרת מיקרוסקופ רגיל, אנחנו צריכים להשתמש במיקרוסקופ אלקטרוני. כפי שהשם מרמז, במיקרוסקופ זה נעשה שימוש באלקטרונים במקום באור.

איור 2

תמונה מיקרוסקופית של מבט מלמעלה על תא סולרי גרוע (משמאל) ועל תא סולרי טוב (מימין), אשר צולמה באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני.

זכרו שאנחנו מסתכלים על פריטים קטנים מאוד: אורכו של סרגל קנה המידה (מימין למטה) הוא מיליונית המטר, כלומר הוא קטן פי 100 מרוחב שיערה! לטיפות הגדולות שבאיור השמאלי יש ממשק קטן עם הפולימר השני, מה שמהווה חיסרון עבור נצילות התא הסולרי. בתמונה שמימין ישנם סיבים קטנים מאוד אשר יוצרים ממשק גדול בין שני הפולימרים, עובדה שמהווה יתרון עבור נצילות התא הסולרי.



איור 2

מפלסטיק שאינו עובד בצורה טובה. הטיפות הגדולות שנוצרו מהפולימר האדום (כהה) גורמות לכך שהממשק שלו עם הפולימר הירוק (בהיר) יהיה קטן מאוד, ולכן הנצילות היא נמוכה – בסביבות 1.5% בלבד. מימין ניתן לראות תא סולרי טוב בהרבה. כאן המבנה שבין אזורים כהים ובהירים הוא קטן כל כך עד שקשה לראות אותו, אולם למעשה משמעות הדבר היא שהממשק בין שני הפולימרים הוא גדול. זה מאפשר את היווצרותם של מטענים רבים יותר ומגדיל פי שלושה את הנצילות, עד לערך של יותר מ-5%. התאים הסולריים האלה עדיין זקוקים לשיפור, אולם הם יכולים לעזור לנו להבין כיצד פועלים תאים סולריים מפלסטיק.

התוסף המיוחד

כיצד עברנו מ 5% התא הסולרי הגרוע שמשמאל אל התא הסולרי הטוב שמימין באיור 2? ה"קסם" היה להשתמש בתוסף מיוחד בעת הכנת השכבה הפעילה. התוסף הוא נוזל שמתייבש באיטיות, אשר מוסיפים לדיו בכמות קטנה. התכסיס החכם הזה הוצג לראשונה בשנת 2007 [4], אולם אף אחד לא ממש הבין כיצד הוא פועל. בואו נסתכל תחילה על מה הוא עושה ואז ננסה לראות אם אנחנו יכולים להבין מדוע. השכבות הפעילות בתא הסולרי מיוצרות בתהליך שנקרא **ציפוי סיבובי** של הדיו, כפי שניתן לראות באיור 3. ציפוי סיבובי הוא שיטה ליצירת שכבות דקות מדיו. תהליך הציפוי הסיבובי הרגיל מוצג בשורה העליונה באיור 3. טיפת דיו שמכילה פולימרים ירוקים ואדומים מונחת על צלחת זכוכית. באמצעות סיבוב מהיר מאוד של הצלחת נוצרת על הצלחת שכבת נוזל דקה ורטובה אשר מתייבשת בתוך שנייה אחת בעקבות התאדות הנוזל. בעת ההתייבשות, הפולימרים האדומים יוצרים טיפות אשר גורמות לביצועים גרועים (כפי שהוצג באיור 2 משמאל). בשורה התחתונה באיור 3 אפשר לראות את אותו תהליך הציפוי הסיבובי לאחר הוספת התוסף המיוחד לדיו. כעת, תהליך ההתייבשות אורך זמן רב יותר, בסביבות 5 שניות. כפי שאתם יכולים לראות לא נוצרות טיפות כאשר משתמשים בתוסף המיוחד.

מערך ניסיוני חדש פתר את התעלומה

כדי לפצח את תעלומת התפקיד של התוסף המיוחד ביצירת תא סולרי איכותי החלטנו לחקור בפירוט כיצד השכבה הפעילה מתייבשת. כדי לחקור את תהליך ההתייבשות בעת תהליך הציפוי הסיבובי נדרשנו לבנות מערך ניסיוני חדש. במערך הזה, הארנו באמצעות לייזר את צלחת הזכוכית המסתובבת. השתקפות הלייזר מהצלחת משתנה כאשר הטיפות נוצרות. באופן זה מצאנו שללא התוסף נוצרות טיפות גדולות בשלב מאוחר בתהליך ההתייבשות, ואפילו

ציפוי סיבובי (Spin coating)

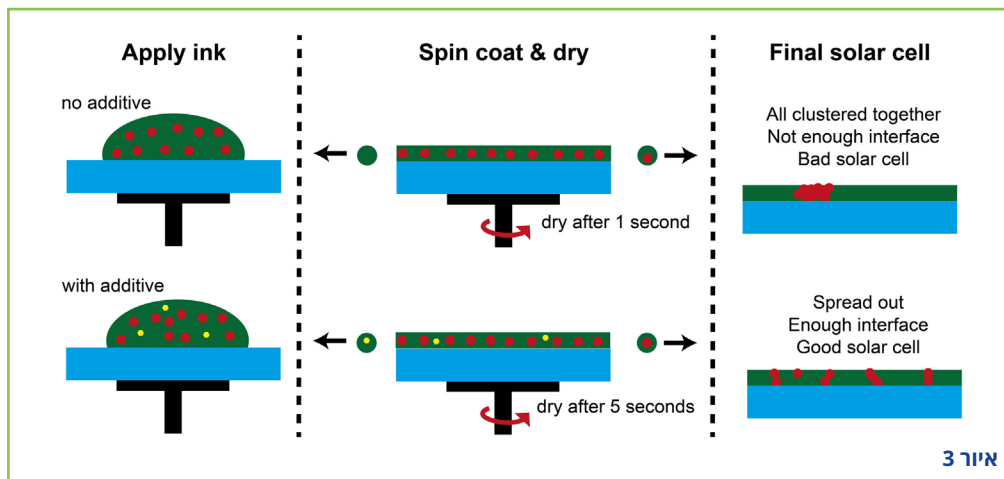
שיטת ציפוי לייזר של שכבות דקות מאוד. טיפת דיו מונחת על שקופית מתכת אשר מסובבת במהירות גבוהה כדי לפזר את הדיו. לאחר הפיזור הדיו מתייבש ונשארת על הזכוכית שכבה דקה מאוד.

איור 3

תאים סולריים מפלסטיק מיוצרים בתהליך של ציפוי סיבובי.

ציפוי סיבובי (Spin coating) הוא שיטה ליצירת שכבות דקות. כאן מוצג מבט מהצד על התהליך הזה. מבט מלמעלה על אותו התהליך נראה כמו אובניים אשר משמשות בקדרות. ראשית (משמאל), מניחים טיפת דיו (עם התוסף או בלעדיו) על-גבי צלחת זכוכית. לאחר מכן (באמצע), מסובבים את צלחת הזכוכית הזו במהירות גבוהה. בעקבות הסיבוב הדיו מתפשט ומייצר שכבה דקה על-גבי הצלחת. ללא התוסף, הדיו מתייבש בתוך שנייה אחת והפולימר האדום מתקבץ בצורה של טיפות (מימין למעלה), מה שגורם לביצועים גרועים של התא הסולרי. עם התוסף, ההתייבשות עורכת זמן רב יותר והפולימר האדום מתגבש בצורה מפוזרת יותר (מימין למטה), מה שמשפר את ביצועי התא הסולרי.

Apply ink = הנחת דיו
Spin coat & dry = ציפוי סיבובי וייבוש
Final solar cell = תא סולרי סופי
Additive = תוסף



איור 3

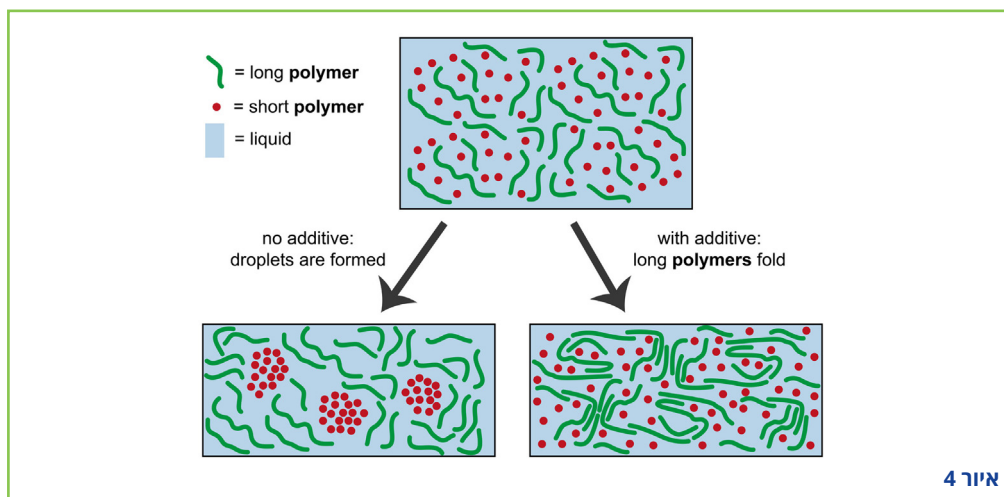
אחרי ההתייבשות הפולימר הירוק משנה את צבעו! כדי להבין מה קורה כאשר הצבע משתנה ניזכר שהרכיב הירוק הוא הפולימר הארוך. אנו יודעים שפולימרים ארוכים יכולים להתקפל באותו האופן שנחש מתכרבל בתוך עצמו. התקפלות זו גורמת לפולימרים הירוקים לשנות את צבעם לירוק כהה. באמצעות מערך הניסוי המיוחד שלנו הצלחנו לקבוע מהו הזמן שבו משתנה הצבע ומתרחשת ההתקפלות. גילינו שהתוסף המיוחד גורם לפולימר הירוק להתקפל בשלב מוקדם יותר מאשר בלעדיו, ואפילו לפני שהטיפות היו נוצרות באופן טבעי! הסיבה לכך היא שהתוסף והפולימר הירוק אינם מחבבים כל כך זה את זה. כתוצאה מכך, הפולימר הירוק מתקפל כאשר הוא "מרגיש" את התוסף. באופן מפתיע, ראינו שכאשר הפולימר הירוק מתקפל הפולימר האדום לא יוצר טיפות. התקפלות הפולימר הירוק מעכבת את היווצרות הטיפות ויוצרת שכבות שמעורבבות טוב יותר בין שני הפולימרים. התעלומה נפתרה! באיור 4 ניתן לראות תרשים של התובנות החדשות האלה.

איור 4

תרשים של אופן הפעולה של התוסף.

בתמונה העליונה ניתן לראות חלק קטן מטיפת הדיו שהנחנו על מכשיר הציפוי הסיבובי. אנחנו רואים שהפולימרים הירוקים והאדומים מעורבבים במהלך הציפוי הסיבובי, הדיו מתייבש. ללא התוסף (משמאל למטה), אנחנו רואים הצטברות של הפולימרים האדומים זה לצד זה (כלומר היווצרות של טיפות). עם התוסף (מימין למטה), אנחנו רואים תמונה שונה לחלוטין: הפולימרים הירוקים מתקפלים והתקפלותם מונעת את היווצרות צבירי הפולימרים האדומים (כלומר לא נוצרות טיפות).

Long polymer = פולימר ארוך
Short polymer = פולימר קצר
Liquid = נוזל



איור 4

חמשק (Interface)

אזור הגבול שבין שני חומרים.

הוא מאוד יעיל, רצינו להבין כיצד הוא פועל. בעזרת מערך ניסיוני חדש שתכננו כדי לחקור את התייבשות טיפת הדיו, גילינו שהתוסף המיוחד שולט בהתקפלות של אחד משני הפולימרים. התקפלות זו מונעת את היווצרותן של טיפות גדולות ובכך מגדילה את גודל **החמשק** בין שני הפולימרים בשכבה הפעילה בתא הסולרי. החמשק חשוב מאד עבור נצילות ההמרה של אור השמש לחשמל. בעבר, תאים סולריים שופרו על-ידי עבודה רבה וקשה במעבדה, והיה דרוש גם מזל כדי לייצר תא מוצלח. כיום, מאחר שאנחנו מבינים את תהליך התייבשות, אנחנו יכולים לפתח תכסיסים חכמים עוד יותר שישפרו את התאים הסולריים האלה! בעתיד, אנו מקווים שהדבר יוביל לייצור זול ויעיל של חשמל באמצעות תאים סולריים מודפסים!

כעת אתם יכולים לענות על השאלות האלה:

1. מהו היתרון של תאים סולריים מפלסטיק ביחס לתאים סולריים קיימים אחרים?
2. מהי הבעיה העיקרית עם תאים סולריים מפלסטיק?
3. מדוע הוספת התוסף היא רעיון חכם?
4. כיצד המחקר הזה עשוי להפוך את התאים הסולריים לנגישים יותר בעתיד?

מאמר המקור

Franeker, J. J. V., Turbiez, M., Li, W., Wienk, M. M., Janssen, R. A. J. 2015. A real-time study of the benefits of co-solvents in polymer solar cell processing. *Nat. Commun.* 6:6229. doi:10.1038/ncomms7229

מקורות

1. U.S. Energy Information Administration. 2015. Monthly Energy Review. Available from: <http://www.eia.gov/>
2. Krebs, F. C., Espinosa, N., Hösel, M., Søndergaard, R. R., Jørgensen, M. 2013. 25th anniversary article: rise to power – OPV-based solar parks. *Adv. Mater.* 26:29–39. doi:10.1002/adma.201302031
3. Yusoff, A. R. B. M., Kim, D., Kim, H. P., Shneider, F. K., da Silva, W. J., Jang, J. 2015. High efficiency solution processed polymer inverted triple-junction solar cells exhibiting conversion efficiency of 11.83%. *Energy Environ. Sci.* 8:303–16. doi:10.1039/C4EE03048F
4. Peet, J., Kim, J. Y., Coates, N. E., Ma, W. L., Moses, D., Heeger, A. J., et al. 2007. Efficiency enhancement in low-bandgap polymer solar cells by processing with alkane dithiols. *Nat. Mater.* 6:497–500. doi:10.1038/nmat1928

פורסם **אונליין**: 31 במאי 2018**נערך על ידי:** Berend Smit, University of California, Berkeley, USA**ציטוט:** van Franeker JJ and Janssen RAJ (2018) תאים סולריים מפלסטיק: הבנת התוקף המיוחד. Front. Young Minds. doi:10.3389/frym.2015.00009-he**תורגם והותאם מ:**

van Franeker JJ and Janssen RAJ (2015) Plastic solar cells: understanding the special additive. Front. Young Minds 3:9. doi:10.3389/frym.2015.00009

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

COPYRIGHT © van Franeker and Janssen 2015. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution (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.

סוקרים צעירים**FRENCH AMERICAN INTERNATIONAL SCHOOL, גיל: 12-13**

בית הספר הבינלאומי הצרפתי-אמריקאי ממוקם בלב סן פרנסיסקו, והוא בית ספר יסודי ותיכון בינלאומי עצמאי ובו 1,080 תלמידים. בבית הספר היסודי ובחטיבת הביניים אנו מציעים תוכנית דו-לשונית (Bilingual immersion program) אשר מגיעה לשיאה בבית הספר התיכון הבינלאומי שלנו, במסגרתה התלמידים משלימים אחת משתי תוכניות מְכָרוֹת – צרפתית או תואר ראשון בינלאומי (French / International Bacalaureate Program). ללא קשר לתוכנית הנבחרת, תמיד שמים דגש על מקצועות המדע. בשנים האחרונות תוכנית הלימודים שלנו תוגברה על-ידי פתיחת מועדון מדע בבית הספר התיכון, ופתיחת מעבדות ייצור ותכנון בבתי הספר היסודי והתיכון. התלמידים והמורים משתמשים במרחבים אלה כדי לבצע מחקרים רב-תחומיים אשר משלבים חשיבה מדעית ועיצובית. www.frenchamericansf.org

הכותבים**JACOBUS J. VAN FRANEKER**

תמיד אהבתי לְבַנּוֹת דברים ולהבין כיצד דברים פועלים. לכן, מחקר של תאים סולריים מתאים לי בדיוק! במהלך יום אחד במעבדה אני צריך קודם כל להכין תא סולרי ואז אני צריך להבין מדוע הוא פועל. יותר טוב מהכול, התאים הסולריים האלה מיוצרים כל כך מהר שבערב עדיין יש לי זמן לשחק טניס או פשוט לפגוש את החברים שלי!

RENÉ A. J. JANSSEN

הריגוש הגדול ביותר שלי הוא גילוי תגליות חדשות. הבנה של כיצד פועל הטבע ושימוש בכך לצורך יצירת דבר חדש גורמים לי לחייך. אני אוהב ללמוד כיצד אפשר להשתמש במולקולות פשוטות כדי להמיר אור שמש לחשמל. הדבר השני שאני הכי אוהב אחרי מדע הוא הליכות ארוכות בהרים והנאה מהאוויר הרענן, השמש והנוף.

Hebrew version
provided by

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

