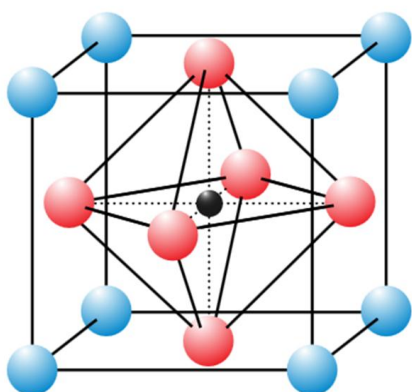


חלק III

תאים פוטו-וולטאיים המבוססים על פרובסקיט

פרובסקיט

פרובסקיט (Perovskite) הוא שמו של מינרל שנוסחתו CaTiO_3 . מינרל זה נתגלה בהרי אורל שברוסיה בשנת 1939 ונקרא על שמו של המינרלוג הרוסי פרובסקי. בעידן הטכנולוגי שם פרובסקיט הפך לשם של קבוצת חומרים מלאכותיים, שמתאפיינים במבנה גבישי זהה לזה של המינרל הטבעי פרובסקיט. מדענים פיתחו תאים פוטו-וולטאיים זולים ויעילים, המבוססים על פרובסקיטים שונים, שהם מוליכים למחצה. הנוסחה הכללית של מספר



פרובסקיטים היא ABO_3 .

A - יון מתכת שמטענו $2+$, כגון יון עופרת Pb^{2+}

B - יון מתכת שמטענו $4+$, כגון יון טיטניום Ti^{4+}

O - אטום חמצן

לדוגמה: PbTiO_3

נוסחה כללית לסוג נוסף של פרובסקיטים היא ABX_3 .

A - יון מתכת שמטענם $2+$, כגון יון עופרת Pb^{2+}

B - יון של תרכובת אורגנית, כגון יון מתילאמין CH_3NH_3^+

X - אטום הלוגן: כלור Cl, ברום Br, יוד I

לדוגמה: $\text{PbCH}_3\text{NH}_2\text{I}_3$

יתרונות פרובסקיט לעומת סיליקון בתאים פוטו-וולטאיים

- ◆ ניצול תחום רחב של קרינה אלקטרומגנטית המגיעה מן השמש והפקת חשמל במתח גבוה.
- ◆ מובילות גבוהה של המטענים, זמן חיים ארוך.
- ◆ הכנה קלה בטמפרטורה נמוכה, קבלת גבישים בגדלים של 0.1 ננומטרים.
- ◆ כבר מגיעים לניצולת אופטית של 15%, ומצפים להגיע לניצולת גדולה יותר.

מאמרים

הדור הבא

מתוך: המכון, גיליון 75, יוני 2014, מכון ויצמן למדע

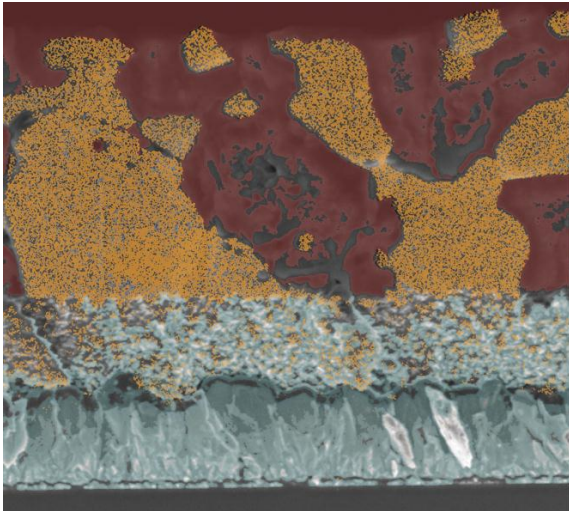
השאלה: מה עושים עם חומרים פרובסקיטים?
הממצאים: חומרים אלה יוכלו לשמש לייצור הדור הבא של תאים סולאריים יעילים וזולים.
מדעני מכון ויצמן חוקרים את תכונותיהם.

מדענים עוסקים בפיתוח תאים פוטו-וולטאיים זולים ויעילים. הם מחפשים חומרים כדי להחליף סיליקון שהוא החומר העיקרי שבו משתמשים היום בתאים אלה. המטרה היא לבנות תאים שבאמצעותם אפשר יהיה לייצר חשמל במתח גבוה יותר, תוך שמירה על יציבות תאים.

המדענים חוקרים את החומרים המלאכותיים החדשים, הקרויים פרובסקיטים (perovskites), שמתאפיינים במבנה זהה לזה של המינרל הטבעי פרובסקיט. מדובר בתרכובות בעלות מבנה גבישי אופייני, אשר מבוססות על מתכות זולות כמו בדיל או עופרת. תאים פרובסקיטיים הם הסוג הזול הראשון של תאים סולאריים אשר מנצלים תחום רחב של קרינת השמש ומספקים חשמל במתח גבוה. קל לייצר את התאים האלה - למעשה, אפשר לייצר אותם על פלדת חימום - כמו זו המשמשת במטבח. תאים אלה יעילים והתנאים של ייצור התאים הללו הם פשוטים וזולים.

החומרים הפרובסקיטים נכנסו לזירה בשנת 2009, כאשר קבוצה מיוקוהמה, יפן, השתמשה בהם ליצירת סוג מיוחד של תאים סולאריים. היעילות שהשיגו הייתה מכובדת, אך יציבותם של התאים הייתה גרועה מאוד. בתוך זמן קצר הראו קבוצות מחקר מקוריאנה, אנגליה ושווייץ, כיצד אפשר להשיג תאים בעלי יעילות ויציבות טובות יותר, המספקים מתח גבוה יחסית. בתוך זמן קצר יצרו קבוצות אלה ואחרות תאים סולאריים ניסיוניים מחומרים פרובסקיטים, אשר מובילים ביעילותם את חלופות התאים העושיים מסיליקון, ומייצרים מתח חשמלי גבוה יותר.

אנחנו נעסוק בתאים שפותחו במכון ויצמן. במחקר של פרופסורים כהאן והודס ממכון ויצמן נבדקו שכבות פרובסקיט המכילות חומרים שונים המשמשים "מוליכי חור" במטרה לשפר את הפרדת המטענים. המדענים הצליחו לבנות תאים המייצרים חשמל במתח גבוה יותר מתאי סיליקון.



צילום במיקרוסקופ אלקטרוני סורק של חתך צד בתא פוטו-וולטאי, המבוסס על פרובסקיטים היברידיים (אורגניים ואי-אורגניים).

בכתום: הפרובסקיט בולע האור.

באדום: חומר מוליך למחצה אורגני שמוליך "חורים" בלבד אל הקצה העליון (של התמונה).

השכבה האפורה העליונה עשויה מתחמוצת אלומיניום נקבובית. **השכבה שמתחתיה** היא מוליך שקוף.

בין שתי שכבות אלה מצויה שכבה דקה וכהה של תחמוצת טיטניום, שמאפשרת מעבר אלקטרוני בלבד אל הקצה התחתון (של התמונה).

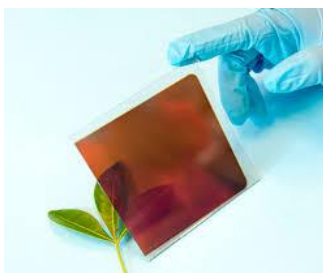
(הצבעים הוספו באופן מלאכותי)

הסוד של פרובסקיט הוא סדר גבוה במבנה הגבישי. הם מכילים רכיבים אי-אורגניים: (I^- או Br^- , Pb) ורכיבים אורגניים (בעיקר פחמימנים). אופן השתלבות של מרכיבים אלה יחדיו הוא הגורם לחומרים אלה להיות שימושיים בתאים סולאריים: הם יוצרים מבנים גבישיים בדומה לסיליקון, אך כאן יחסי הגומלין בין החלקים האורגניים יוצרים משטחים המאפשרים לאלקטרוני לעבור בקלות מאטום לאטום.

הבעיה בתאי פרובסקיט היא שהם מכילים כמויות קטנות של עופרת, Pb , המזיקה לבריאות האדם. יש למצוא לה תחליף או להוכיח שחומר יעיל זה לא יוסיף לזיהום סביבתי. אך המדענים בטוחים שצליחו להתגבר על בעיה זו ותאי פרובסקיט, היעילים והזולים, הם העתיד של ייצור אנרגיה סולארית.

שאלות

1. מהן המטרות של מדענים העוסקים בפיתוח תאים פוטו-וולטאיים?
2. תארו את הפעילות של תא פוטו-וולטאי המבוסס על סיליקון.
3. מהו ההרכב של החומרים המלאכותיים פרובסקיטים?
4. מהם היתרונות של פרובסקיטים בתאים פוטו-וולטאיים?
5. מהו "הסוד" של פרובסקיט?
6. מהי הבעיה של שימוש בפרובסקיט וכיצד אפשר להתגבר עליה?



פרובסקיט: הופעתם של תאים סולריים חדשים בעלי יעילות גבוהה ומחיר נמוך

Henry J. Snaith

מתוך: *The Journal of Physical Chemistry Letters*

אור השמש הינו מקור האנרגיה השכיח והנקי ביותר, שמאפשר צמיחה כלכלית לא מוגבלת ומהווה מקור אנרגיה בר-קיימא עם מעט השפעות סביבתיות שליליות. תאים סולאריים העשויים מסיליקון השתפרו בצורה ממושכת ב-40 השנים האחרונות - ביעילות שלהם ובעלות הייצור שלהם במקומות מסוימים בעולם הם עשויים לייצר חשמל מאור השמש באותה עלות ייצור של חשמל מדלקים, כגון נפט, פחם וגז טבעי. כיום קיימים סוגים חדשניים יותר של תאים סולאריים המבטיחים ניצול יעיל יותר של אנרגיית השמש ומחירים נמוכים יותר של חשמל מאשר תאי הסיליקון. מאמצי מחקר רבים הובילו להתפתחות אדירה ביעילות, וביציבות של תאים אלה. על מנת שתאים אלה יצליחו להתחרות בשוקי האנרגיה הקיימים, דרושה העלאה גבוהה ביעילות והניצולת שתאים אלה מסוגלות לספק. תאים סולריים המבוססות על פרובסקיט (Perovskite) הצליחו לשלב בין עלות נמוכה וניצולת גבוהה. פרובסקיט הוא שם של חומרים שיש להם אותו מבנה גבישי כמו של AB_3 (Titanate). קיימים מאות סוגים של חומרים בעלי מבנה גבישי זה ועם המון תכונות, כולל תכונות של בידוד, הולכה למחצה, הולכה, וסופר-הולכה.

הייחודיות של טכנולוגיית תאים סולאריים מפרובסקיט טמונה במתח הגבוה אשר מספקים תאים אלה, תוך ניצול טווח גדול של קרינת השמש.

"משולש הזהב" של הטכנולוגיה הסולרית הוא עלות, ניצולת ויציבות. עבור תאים סולאריים מפרובסקיט: עלות החומרים הבסיסית להכנת התאים מאוד זולה, ושיטות העיבוד שלהם מאוד בסיסיות ופשוטות. לכן באופן עקרוני, עלות הייצור על פי טכנולוגיה זו צריכה להיות מאוד נמוכה. האתגר האמיתי הוא להתמקד במחקר מתמשך ובשיפור היציבות של תאים אלה, כדי להיות בטוחים שלטכנולוגיה זו יש השפעה על התעשייה הסולרית. תוצאות ראשוניות של בדיקת תאים אלה מראות יציבות ועמידות ארוכת טווח שלהם בפני חשיפה ממושכת לאור השמש, כאשר הם נמצאים בסביבה אינרטית. בכל אופן עדיין צריך להוכיח את היציבות של תאים אלה בטווח תנאים רחב.

שאלות

1. מה מייחד תאים סולאריים המבוססים על פרובסקיט?
2. מה צריכים תאים אלה לספק על מנת שיצליחו להתחרות בשוקי האנרגיה הקיימים?

מגבירים את השקיפות

איתי להט, כלכליסט, 27.8.2014

באוניברסיטת מישגן פיתחו משטח שממיר אור לאנרגיה ביעילות, ובלי הצביעה הזרחנית שהתלוותה לתהליך עד כה.

המון משטחי זכוכית מקיפים אותנו - החלונות בחדר השינה, שמשת הזכוכית במכונית, מסך הטלפון החכם... זכוכית בכל מקום. מה אם היינו יכולים לרתום את כל המשטחים השקופים הללו לתפקיד נוסף, למשל לייצר אנרגיה? זה בדיוק מה שצוות חוקרים מאוניברסיטת מישגן הצליח לפתח במעבדת המחקר של הפקולטה להנדסה - משטחים שקופים המייצרים אנרגיה סולארית מבלי לחסום את הנוף. הפיתוח הזה נקרא "ממקד סולארי זרחני שקוף" (Concentrator Transparent Luminescent Solar), והוא יכול להשתלב על כל חלון בכל בניין ולהפוך אותו למפעל אנרגיה מרשים.



המשטח הסולארי השקוף. הופך חלונות למפעל אנרגיה. צילום: Yimu Zhao

המחקר בתחום של ייצור אנרגיה סולארית ממשטחים שקופים לא חדש. הוא מתנהל כבר שנים אבל בתוצאות מאכזבות: המשטחים השקופים לא ממש שקופים, הם נצבעים בצבעים זרחניים ויכולתם לייצר אנרגיה נמוכה. "איש לא רוצה לשבת מאחורי זכוכית צבועה", אמר פרופסור ריצ'רד לאנט (Lunt), ממובילי המחקר, לעיתון האוניברסיטה. "החלונות שעד היום הצליחו לייצר אנרגיה היו בגוון זרחני, מה שיצר סביבה מאוד צבוענית, כמו לגור או לעבוד בדיסקוטק. אנחנו נקטנו גישה שהופכת את הצבעוניות לשקופה לחלוטין על ידי שימוש במולקולות אורגניות קטנות שאוספות גלי אור בלתי נראים לעין האנושית. זה מה שמאפשר לנו לייצר אנרגיה ולשמור על שקיפות".

המשטחים אוספים גלי אור מסוג אולטרה-סגול ואינפרא-אדום ומסיעים אותם במסלול שממוקם בקצה המשטח. שם, בשוליים, מיוצרת האנרגיה: הקרינה באורכי גל אינפרא-אדום נלכדת ברצועות תאים פוטו-וולטאיים שממירים אותה לאנרגיה. משום שהאנרגיה שנאספת היא באורכי גל שהעין האנושית לא מזהה, המשטח עצמו נשאר שקוף.

האפשרות הזו של להניח תאים סולאריים המייצרים אנרגיה באופן בלתי פולשני, מציעה פוטנציאל עצום לפריסה גלובלית. אף שהפיתוח עדיין בשלבים ראשוניים, החוקרים מציינים שעלויותיו נמוכות מאוד ביחס למוצרים מקבילים. הוא יאפשר כיסוי של משטחים שקופים עצומים על גבי מגדלים ובבתי מגורים, ואפילו יהפוך את מסך הטלפון החכם לתא סולארי שיאפשר בעתיד להטעין את הטלפון בעזרת קרינת השמש בלבד. יותר מכל, הטכנולוגיה תאפשר להפוך את משטחי איסוף אנרגיית השמש שלנו לאסתטיים יותר. לאנט מדבר על מצב שבו כלל לא נדע שמשטח מסוים הוא גם תא סולארי, אבל הוא גם מודה, באופן שקוף לחלוטין, שהדרך לשם עוד ארוכה.