חומרים חלופיים להגבלת השימוש בחומרים מסוכנים

עפ"י הוראת האיחוד האירופי (חלק ראשון)

עובד ע"י **מהנדס זהר שטרן**

האיחוד האירופי מתכוון להפעיל הוראה (דירקטיבה) להגבלת השימוש בחומרים מסוכנים שלפיה יידרשו יצרני ציוד חשמלי ואלקטרוני, הנמכר בתחומי האיחוד האירופי, להפסיק את השימוש ב-6 חומרים מסוכנים בתהליכי הייצור של מוצריהם

צרני ציוד חשמלי ואלקטרוני יצטרכו למצוא תחליפים מתאימים לחומרים המסוכנים המשמשים בתהליכי הייצור אצלם, עפ"י הוראה חדשה של האיחוד האירופי (RoHS – Restriction ofHazardous Substances), המגבילה את השימוש ב-6 חומרים מסוכנים הנמצאים כיום בשימוש במיגוון רחב של יישומים ובמוצרים רבים ושונים. מדובר ב:

- עופרת;
- קדמיום;
- כספית;
- כרום 6 ערכי;
- בי-פנילים רב-ברומיים – PolyBrominated Biphenyls (PBB);
- אתרים די-פנילים רב-ברומיים – PolyBrominated Biphenyl Ethers (PBDE)

הדירקטיבה כוללת גם את המקרים הפטורים מההוראות הנ"ל.

לספקי החומרים כבר ידוע, מזה זמן, שהשימוש ב-6 החומרים הללו יוגבל, והם פיתחו מספר תחליפים בהצלחה מוגבלת.

ליישומים רבים כבר קיימים תחליפים זמינים, אך ישנם מוצרים מסוימים שעד כה לא נמצאו עבורם תחליפים זמינים.

הצעתו המקורית של האיחוד האירופי היתה להכניס לתוקף הוראה (דירקטיבה), שתאלץ את היצרנים והיבואנים, המייצרים ומשווקים במדינות האיחוד האירופי, למחזר ציוד חשמלי ואלקטרוני בתום מחזור החיים שלהם ותאסור את השימוש ב-6 חומרים מסוכנים, עפ"י דירקטיבה WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), המתייחסת לפסולת של ציוד חשמלי ואלקטרוני. בסופו של התהליך נערכה הוראה נוספת, וכעת קיימות שתי הוראות נפרדות: דירקטיבה WEEE – שתאכוף את המיחזור; ודירקטיבה RoHS (הגבלת השימוש במספר חומרים מסוכנים) – שתאסור את השימוש ב-6 החומרים המסוכנים.

דירקטיבה RoHS – תאסור שימוש ב-6 החומרים המסוכנים שפורטו לעיל, המשמשים בתהליכי הייצור של ציוד חשמלי ואלקטרוני, ואם היא תתקבל על ידי הפרלמנט האירופי, היא תיכנס לתוקף ב- 1.1.2006 (מקורות 1 + 2).

הדירקטיבה RoHS מתייחסת לפריטי ציוד המשווק בתחומי מדינות האיחוד האירופי, בלי קשר למקום הייצור שלהם.

לפיכך, כדי שניתן יהיה למכור ציוד המיוצר בארה"ב ובמדינות אחרות שמחוץ לאירופה, בתחומי האיחוד האירופי, הוא יצטרך לעמוד בדרישות ההוראה הזאת. חברות רבות בארה"ב ובמזרח הרחוק, שוקדות כבר מספר שנים על פיתוח מוצרים (חליפיים) המבוססים על תחליפים ל-6 החומרים הללו, כך שעד כניסתה לתוקף של הדירקטיבה יהיו מוצרים חליפיים זמינים לרוב המקרים.

הדירקטיבה כוללת את מרבית מוצרי הצריכה האלקטרוניים והציוד המשרדי, כמו: ציוד לטלקומוניקציה; ציוד של טכנולוגיית מידע; מכשירי טלוויזיה, וידאו, ומקררים; פריטים כמו מצנמים, מצלמות, נורות, מקדחות, צעצועים אלקטרוניים ומברשות שיניים חשמליות; וכן מספר אביזרי ציוד רפואי ומכונות שתייה אוטומטיות (להכנת משקאות שונים).

לא כלולים בהוראה: ציוד אלקטרוני המשמש במטוסים או ביישומים צבאיים וציוד בדיקה לתעשייה.

הרכיבים והחומרים הפטורים מההוראה הם, בדרך כלל, במקרים שבהם לא קיימים עדיין תחליפים מתאימים. לדוגמה: נתכים של מתכות להלחמה, על בסיס עופרת, עם נקודת היתוך גבוהה.

למרות זאת, גלאי אינפרה-אדום המכילים תרכובת של קדמיום-כספית-טלוריד, שקשה למצוא לה תחליפים, אינם פטורים מההוראה.

ספקי החומרים מפתחים מוצרים חליפיים והתחליפים לחומרים המסוכנים הופכים לזמינים יותר. אולם, במקרים רבים אין עדיין תחליף זמין, או שביצועי החומר החליפי אינם זהים לזה של החומר המקורי. ייתכן גם שיידרשו שינויים משמעותיים בתהליכים ובמיתקנים המשמשים לייצור הציוד – דבר שעלול להיות כרוך בהשקעה גדולה בציוד חדש.

להלן, דיון ביישומים ובתחליפים של 6 החומרים המסוכנים:

מתוך Advancing Microelrctronics, Vol 29 No 3, מאי/יוני 2002;
הכותב Paul D. Goodman הוא יועץ מומחה בחברת ERA Technology Ltd (בריטניה)
מהנדס זהר שטרן הוא מידען במרכז המידע של המוסד לבטיחות ולגיהות

עופרת - Pb

העופרת משמשת ביישומים רבים. נוכחות עופרת במתכות המשמשות להלחמה מוכרת היטב. המידע אודות מתכות להלחמה המכילות עופרת ואודות תחליפים נטולי עופרת כבר פורסם במסגרות רבות.

העופרת נחשבת כחומר שהחלפתו מסובכת ויקרה מאוד. לכן, רוב עבודתה של הוועדה האירופאית בדיון ובפיתוח הדירקטיבה, התמקדה בתחליפים לעופרת בתוך נתכי מתכות להלחמה. מתכות המשמשות להלחמה על בסיס בדיל ועופרת נמצאות בשימוש כבר מאות בשנים. נקודת ההיתוך של נתכי ההלחמה הסטנדרטיים נמוכה ולכן הם מתאימים במיוחד להלחמת חיבורים חשמליים. הנתכים האלה מרטיבים היטב מישטחי מתכת, יוצרים הדבקה חזקה ובנוסף – העופרת והבדיל הן מתכות גמישות.

השימוש העיקרי בעופרת בתעשיות האלקטרוניקה נעשה בנתכי מתכות להלחמה להכנת חיבורים חשמליים לרכיבים, וגם למיגוון נוסף של יישומים, וביניהם:

- ציפוי מעגלים מודפסים, לשמירה על כושר הלחמה – קיימים מספר תחליפים טובים זמינים;
- ציפוי לפינים, לפסי מגעים של רכיבים שונים ולמתאמי קצה שלהם – קיימים מספר תחליפים (כמו בדיל ופלדיום/ניקל);
- יצירת עמידות בתהליך צריבה במהלך ייצור של PCBs (מעגלים מודפסים) – התחליף העיקרי הוא בדיל;
- במתכת הלחמה לחיבור תת-שבבים (dies) – לא נדרש תחליף (המתכות להלחמה עם נקודת היתוך גבוהה פטורות מהדירקטיבה);
- בזכוכית ובמתכת ההלחמה של נורות תאורה עם חוט להט;
- בנתכים בעלי טמפרטורת היתוך נמוכה לחיבור נתיכים.

עופרת מצויה גם בחומרים פיאזו-אלקטריים (גבישים היוצרים פוטנציאל חשמלי בהשפעת עיוות מכני); בחומרים דיאלקטריים (מבודדים) ובזכוכיות שונות. אלה, קרוב לוודאי, יהיו פטורים מהוראות RoHS.

לאחרונה הוכנסו לשימוש נורות העשויות מזכוכית נטולת עופרת. חב' 'מצושיטה' ('Matsushita') היפאנית מייצרת נורת פלואורוסנט חדשה העשויה מזכוכית נטולת עופרת אך מכילה כספית. בנורות אחרות העשויות מזכוכית נטולת עופרת משתמשים לצורך הלחמת החיבורים החשמליים במתכות על בסיס עופרת.

עופרת משמשת גם בסוללות חומצה/עופרת ובמספר סוגים ישנים של מייצבים עבור החומר הפלסטי PVC.

כרגע – המצב עדיין מסובך, מכיוון שעל-פי הדירקטיבה WEEE, כל פסולת המכילה עופרת תסווג כמסוכנת ויהיה צורך להפריד את העופרת מהציוד בתום מחזור החיים שלו, לצורך מיחזור. יצרנים אחדים יעדיפו, בוודאי, להימנע לחלוטין מהשימוש בעופרת וישאפו לשווק מוצרים נטולי עופרת. אך כיום קיימים תחליפים מעטים, רק לחלק מהחומרים הנ"ל.

מתכות להלחמה נטולות עופרת

למרות שכבר פורסם מידע רב אודות נתכים של מתכות נטולות עופרת להלחמה (מקור 3), למשתמשים רבים עדיין לא ברור איזה נתך הוא התחליף המתאים ביותר, כיצד משתמשים בו ואיזה השפעות יהיו לו על המוצרים שבהם הוא מיושם. לרוע המזל, אין עדיין תחליף יחיד ומיידי. בכל התחליפים עדיין אין זהות לתכונותיה של מתכת ההלחמה הסטנדרטית בדיל/עופרת.

טבלה מס' 1 כוללת תחליפים אחדים, מהנפוצים ביותר, וטמפרטורת ההיתוך שלהם. לשם השוואה מופיעים בה גם הנתונים של הנתך 63Sn37Pb (המרכיב את חוט ההלחמה המצוי).

לא פשוט להחליף את העופרת. כאשר מתבוננים בטבלה המחזורית של היסודות הכימיים מתבררת הסיבה לכך: לאחר ניפוי היסודות הלא-מתכתיים, היסודות הרעילים, הרדיואקטיביים, הריאקטיביים ביותר, היסודות הנדירים ואלה בעלי נקודת ההיתוך הגבוהה – נשארים לבחירה רק יסודות מעטים. הבדיל הוא הבחירה המוצלחת ביותר. גם אבץ הוא חומר אפשרי, אך הוא ריאקטיבי מדי. לאינדיום ולביסמות יש אמנם נקודות היתוך נמוכות, אך החומרים האלה (במיוחד האינדיום) מצויים בעולם בכמות מוגבלת. הביסמות עלול לגרום לקשיים בתהליך המיחזור לפי הדירקטיבה WEEE. הניפוי הזה משאיר כתחליף לעופרת את המתכות שיש להן נקודות היתוך גבוהות, ואשר המתאימות ביותר מביניהן הן נחושת (שנקודת ההיתוך שלה 1083°C) וכסף (960°C).

נקודת ההיתוך של המתכות נטולות עופרת המשמשות להלחמה, שהשימוש בהן הוא הנפוץ ביותר (מכילות נחושת ו/או כסף), גבוהה ב- 30°C–40°C מזו של נתך בדיל/עופרת. לעובדה זו יש השלכות לגבי רכיבים רגישים לחום, כמו שבבי קבלים, דיודות פולטות אור (leds), מעגלים משולבים (ICs) וכו' (מקור 4). כמו-כן, הרטבת מישטחי מתכת ע"י מתכות הלחמה נטולות עופרת היא פחות טובה מאשר ע"י בדיל/עופרת. ההרטבה הפחות טובה, יחד עם ההבדלים בתכונות הפיזיקליות, יכולים להתבטא בהתנהגות שונה של ההלחמה בטווח הארוך. לדוגמה: התעייפות חומרי ההלחמות כתוצאה משינויים תרמיים. דווח גם על מספר סוגי נתכים נטולי עופרת שביצועיהם טובים מאלה של נתכי בדיל/עופרת (מקור 5).

בעקבות החלפת חומרי ההלחמה ייתכן שיהיה צורך לבצע שינויים בציוד ההרכבה, בתנורי הסעת חום ובמכונות הלחמת גל – כדי להתאימם לטמפרטורות הגבוהות יותר שיידרשו, וכדי לשפר את בקרת הטמפרטורה והסביבה של גז החנקן (המשמש להורדת טמפרטורת הסעת החום, להגנת הרכיבים

טבלה 1. מתכות ההלחמה נטולות העופרת, הנפוצות ביותר

הרכב הסגסוגת	נקודת התכה ב-°C	הערות
Sn37Pb	187	נפוץ מאוד ביישומים אלקטרוניים.
Sn0.7Cu	227	מומלץ ליישומי הלחמת גל (מוכר כ-99Cu).
Sn3.5Ag0.7Cu	217	נתך הלחמה נטול עופרת, נפוץ ביותר בשימוש.
Sn2Ag0.8Cu0.15Sb	217–215	נתך יציקה (Casting). לטענת מומחים – תוספת ה-Sb מעכבת התפתחות (בין-מתכתית) של CuSn ומשפרת את תכונות ההתעייפות התרמית.
Sn9Zn	198	נתכים המכילים אבץ רגישים לקורוזיה וקשים לשימוש.
Sn8Zn3Bi	Ca.191	בשימוש החברות היפניות מצושיטה (Matsushita) וסנג'ו (Senju).
Sn2.8Ag20In	178	אינדלוי (Indalloy) – נתך אינדיום, פטנט של חב' Indium Corp. הנתך מכיל כמות גדולה מדי של אינדיום (In) לשימוש נרחב. הוא יכול להכיל פאזות עם טמפרטורת היתוך נמוכה, המשפיעות על התכונות הפיזיקליות של החומר/הנתך.
58Bi42Sn	138	נקודת היתוך נמוכה. נתך קשה ופריך.

הרגישים לחום). השינויים הללו יגדילו את עלויות הייצור. בנוסף, נתכי מתכות הלחמה נטולות עופרת יקרים יותר. לדוגמה: נתך Sn3.5Ag0.7Cu יקר פי 2.5, בערך, מנתך עם עופרת Sn63Pb37 באותו נפח. גם תנורי ההלחמה החדשים הנדרשים יקרים יותר. לפי הערכה, כמות האנרגיה שתידרש להלחמה עם נתכים בעלי נקודת היתוך גבוהה – תהיה גדולה ב-20% מהמקובל כיום. יש סימנים לכך שקצב הייצור יואט, אך זה עדיין איננו ודאי, ויש צורך להמשיך במחקר.

קיימת בעיה לגבי החלפת נתכי מתכות הלחמה על בסיס עופרת בחומרים שעלותם נמוכה, שהם גמישים ויש להם גם נקודת היתוך גבוהה. כמעט כל מתכות ההלחמה נטולות העופרת מבוססות על בדיל. כל הנתכים נטולי העופרת, שאותם ניתן גם לרקע, מכילים כמות גדולה יחסית של מתכות ריאקטיביות, כמו אבץ או אלומיניום. נקודת ההיתוך הגבוהה ביותר שניתן להשיג עם נתך המבוסס על בדיל היא 230°C. הטמפרטורה הזאת נמוכה מדי עבור מספר יישומים כמו: נורות תאורה המיועדות לפעול בטמפרטורות גבוהות מ-150°C, או לחיבור פנימי בין תת-שבבים (dies) בשבבי הספק (power ICs) שטמפרטורות העבודה שלהם גבוהה במיוחד, ועוד. לכן, נתכי עופרת ליישומים אלה יהיו פטורים מהדירקטיבה.

התחליף האפשרי היחיד לצרכים אלה הוא שימוש בנתך המכיל זהב, כמו Au80Sn20, שנקודת ההיתוך שלו היא 280°C. נתך זה משמש בתעשיית המוליכים למחצה, לחיבור בין החלקים השונים של השבב הסופי. מחירו של הנתך איננו נמוך. אך, במעגלים משולבים רגילים יידרשו, בממוצע, רק 2 מ"ג של זהב. כך שהשימוש בנתך כזה לא אמור לגרום לגידול בעלויות הייצור.

ציפויים חלופיים למעגלים מודפסים

מישטחי הנחושת של מעגל מודפס מיד לאחר הייצור, נקיים לחלוטין, אך המישטח מתחמצן במהירות במהלך האחסון. מתכת ההלחמה איננה יכולה להרטיב היטב פני שטח שהתחמצנו ונדרשות חומצות צורבות לניקוי, או שימוש במשחות הלחמה קורוזיביות. התהליך המקובל הוא טבילת לוחות המעגלים המודפסים באמבט עם מתכת הלחמה נוזלית, שיוצרת ציפוי של שיכבת מתכת הלחמה על הנחושת החשופה ("הלחמה באוויר חם" – HASL – **H**ot **A**ir **S**older **L**evel). התהליך הזה איננו ישים במתכות הלחמה נטולות עופרת, מכיוון שהטמפרטורות הגבוהות יותר, הנדרשות, גורמות נזק רב מדי למעגלים המודפסים. כדי לשמור על אפשרות הרטבה ע"י מתכת ההלחמה על גבי הלוחות, במהלך האחסון, פותחו מיגוון של ציפויי לוחות, כתחליף לציפויי HASL. הציפויים החלופיים כוללים חומרים אורגניים המשמרים תכונות הלחמה (OSP – Organic Solderability Preservatives) – נתך ניקל/זהב, כסף ובדיל. ההבדלים העיקריים ביניהם מתבטאים במחיר, ברמת ההגנה ובמורכבותו של התהליך הנדרש. התהליך הזול ביותר הוא OSP, אך הציפוי שנוצר דק מאוד וניזוק בקלות. נתך ניקל/זהב נחשב הטוב ביותר, אך הוא גם היקר ביותר. לנתך ניקל/זהב יש מספר יתרונות טכניים, בהשוואה לתחליפים האחרים. משתמשים בו, לרוב, בלוחות של מעגלים מודפסים לטלפונים ניידים ועוד.

ציפוי רכיבים בעופרת

פותחו מיגוון של תחליפים, כולל בדיל, אשר משמשים את 'Philips Semiconductors' לציפויים על בסיס נתכי בדיל ופלדיום. התעוררה בעיה של היווצרות "זיפים" (whiskers) של בדיל, שמקורם בציפוי בדיל באלקטרוליזה. ציפוי אלקטרוליטי של בדיל/עופרת הוא תהליך ישן ומבוסס היטב. אך ציפוי באלקטרוליזה של נתכי בדיל אחרים (כמו בדיל/נחושת או בדיל/כסף) הוא תהליך מסובך יותר – מכיוון שקיים הבדל גדול יותר בין הפוטנציאל האלקטרוכימי של אלקטרודות המיוצרות מהיסודות האלה, ביחס לזה של הבדיל/עופרת. עקב ההבדל הנ"ל בפוטנציאל קשה לפקח על איכות הציפוי של הנתכים החלופיים, החדשים. יצרנים אחדים טוענים שניתן להשתמש בבדיל ללא קושי, כל עוד נוקטים באמצעי זהירות.

נתכי פלדיום/ניקל (הכוללים לעתים עקבות של זהב), משמשים לציפוי בסיסי הלחמה של מוליכים למחצה. הודות לטיב תכונות ההרטבה של המתכות האלה, ניתן לבצע הלחמות חיווט אל השבב, על מישטח פלדיום/ניקל. חברת 'Texas Instruments', לדוגמה, משתמשת בציפויים אלה עבור רכיבים מסוימים, אך מחירו הגבוה של הפלדיום עלול להגביל את השימוש בתחליף הזה.

קדמיום - Cd

הקדמיום משמש ביישומים רבים באלקטרוניקה, ובחלקם קשה למצוא לו תחליף למרות שרעילותו של הקדמיום ידועה היטב.

ציפויים

ציפויים אלקטרוליטיים של קדמיום משמשים להשגת עמידות בפני קורוזיה. הקדמיום יעיל במיוחד ליישומים כאלה מפני שהוא פועל בציפוי כאנודה המקריבה את עצמה לטובת המתכת שמתחתיה.

כאשר ציפוי הקדמיום נשרט או נסדק, נוצר תא גלווני. הקדמיום "מחליד" (מתחמצן) ויוצר שיכבת מגן על מתכת הבסיס שהיא, בדרך כלל, פלדה. גם מתכות אחרות, כמו אבץ (בפלדה מגולוונת), יוצרות הגנה בפני קורוזיה בשיטה זו. נפחו של תוצר ההחלדה שיוצר הקדמיום הוא עשירית מהנפח של תוצר "החלדת" האבץ. לכן קל יותר להסיר

טבלה 2. מאפייני הסוגים העיקריים של סוללות

סוג הסוללה	צפיפות האנרגיה (Wh/Kg)	מתח (V)	מספר מחזורי הטענה מחודשת	הערות
עופרת/חומצה	50–30	2	1200–1500	עלות נמוכה
ניקל/קדמיום	עד 55	1.2	2000	אמינה מאוד
אלקלית – להטענה מחדש	~300	1.5	100–25	חדשה. נדרשים מטענים מיוחדים.
ניקל/ הידריד מתכתי	70–60	1.2	דומה לניקל/קדמיום	תחליף לסוללת ניקל/קדמיום בטלפונים ניידים.
ליתיום	130	3.6	10000–3000	יקרה יחסית. חיי מדף וקיבולת טובים יותר.

ברגים המצופים בשיכבה ישנה של קדמיום חלוד מאשר חלקים ישנים מגולוונים. בקדמיום משתמשים במקרים שבהם נדרשת אמינות לטווח ארוך, במיוחד ביישומי תעופה, ביישומים ימיים ולצרכים צבאיים. לציפויי קדמיום קיימים תחליפים אפשריים רבים, אך הביצועים והמאפיינים שלהם שונים מאוד, ודרוש מחקר יסודי כדי להגיע לבחירה הנכונה.

התחליפים שאליהם ניתן להתייחס כוללים אבץ, ניקל, כסף, בדיל או נתכים כמו Zn/Sn, Zn/Ni או Ni/Fe, שאת כולם ניתן להפוך לציפויים באמצעות אלקטרוליזה (מקור 6). ציפויי קדמיום וחלק מהתחליפים שלהם כוללים שיכבה עליונה של כרומט, לצורך שיפור העמידות בפני קורוזיה. אך גם השימוש בכרומט עתיד להיאסר. ציפוי הקדמיום משמש, ברוב המקרים, ליישומים שאינם נכללים בהוראת RoHS, ולכן תהיה לדירקטיבה הזאת רק השפעה מעטה על השימוש בציפויי קדמיום לציוד חשמלי.

סוללות

עדיין לא ברור האם הסוללות, כמוצרי צריכה, ייכללו בדירקטיבה RoHS. בינתיים, היצרנים מקווים למצוא תחליפים, ליצירת תדמית "ירוקה". לסוללות ניקל/קדמיום, הנפוצות מאוד בשימוש, יש יתרונות טכניים בהשוואה לסוללות עופרת–חומצה, למרות שמחירן גבוה יותר (פי 2–3 מסוללות העופרת). בשוק קיימים סוגים רבים ושונים של סוללות, והמבחר של תחליפים לסוללות עופרת–חומצה או ניקל קדמיום יהיה תלוי בייעודי היישום (מקור 7).

בטבלה מס' 2 מופיעים מאפיינים אחדים של סוגי הסוללות הנטענות העיקריים.

השיקולים בבחירת סוג הסוללה כוללים מתח, טווח טמפרטורות עבודה, תוחלת חיים, דרישות פריקה, תדירות טעינה מחדש ו"עומק" הפריקה שבין הטעינות. גם העלות מהווה שיקול. כיום, סוללות הליתיום יקרות יותר מסוללות הניקל/קדמיום, ונדרשים עבורן מטענים מיוחדים. אבל, החומרים שבהם משתמשים בתאים האלה אינם יקרים, ומחירן יהיה נמוך יותר בסופו של דבר. בטלפונים ניידים ובמחשבים נישאים כבר נעשה שימוש בסוללות הליתיום.

שימושים נוספים

מגעי מיתוג במקום שבו נוצרת קשת עשויים בדרך כלל מכסף עם תחמוצת קדמיום. כיום ניתן להשיג מגעים עשויים מכסף עם תחמוצת בדיל, אך בחומר זה יש מגבלות אחדות ולכן עדיין משתמשים, ברוב המקרים, במוליכים המכילים תחמוצת קדמיום.

שימושים נוספים בקדמיום כוללים מתכות הלחמה עם נקודת היתוך נמוכה; פיגמנטים בגוונים מאדום לצהוב; תאים סולריים מ–CdTe (שאותם ניתן להשיג באופן מסחרי ביפן); גלאי אינפרה–אדום מ–AgCdTe; תוספות לנתכי הלחמה מסוימים ובתאים פוטואלקטריים. בקדמיום השתמשו גם כתוסף לדיו בשכבה עבה. כיום – רוב המוצרים מסוג זה הם ללא קדמיום. כמו כן זוהו כמויות קטנות של קדמיום בחלק מהחומרים הפלסטיים המיובאים מהמזרח הרחוק. ■

מקורות:

(1) **הצעה להוראה של הפרלמנט האירופי ושל המועצה של הקהיליה האירופאית, לגבי פסולת של ציוד חשמלי ואלקטרוני; הצעה לדירקטיבה של הפרלמנט האירופי והמועצה, לגבי הגבלת השימוש בחומרים מסוכנים אחדים בציוד חשמלי ואלקטרוני.** ועדה של הקהילות האירופיות, בריסל 13.6.2000; (COD) 2000/0158 ו–(COD) 2000/0159.

(2) **דו"ח ENDS 1183.** 21.3.2001.

(3) **'מדע והנדסת חומרים'.** מ. אבטו וג. סלודוראי, 27 141–95 2000,

(4) **'ייצור אלקטרוני'.** מ. הוס וט. אדמס, עמ' 14–15, אפריל 2001.

(5) **'SMT' ואריזה עולמיים'.** ז'. ס. הואנג, 1(3) 10–13 2001.

(6) **'הליכי דיון על היבטים סביבתיים של טכנולוגיה אלקטרוכימית. יישומים באלקטרוניקה'.** א. וו. ברומן, ד. א. שריו, ו–מ. ל. קלינגנברג. פנינגטון, ניו–ג'רסי ארה"ב; Electrochem. Soc, 1997, עמ' 35–219 של VII + 296 עמ' 68; כינוס סן אנטוניו, טקסס, ארה"ב 7–8 לאוקטובר 1996; **ISBN: 1-56677-171-4.**

(7) **'תורת היונים במצב מוצק'.** ר.מ.דל 134, 139–158, 2000.

(8) **עמדה מפורטת של ועדת ORGALIME (EELC) בשיתוף עם הוועדות האירופיות המיגזריות,** 5.9.2000.

(9) **גימור מתכות.** א. איכינגר, 36 (3) 95, 1997.

(10) **הערות על הצעות הועדות האירופיות על פסולת ציוד חשמלי ואלקטרוני.** הקבוצה האירופית של תעשיית מעכבי הבעירה הברומיים, אוקטובר 2000.