

המיקרואלקטרוניקה בעולם ובמערכת הביטחון בישראל

בעשור האחרון החל תהליך של יישור קו בין פיתוח היישומים הביטחוניים לבין חזית הטכנולוגיה האזרחית במאמץ לאפשר למערכות הצבאיות ליהנות מהיכולות ומהביצועים שמאפשרת הטכנולוגיה האזרחית. התהליך הזה אינו פשוט, כי הוא יוצר ניגוד בין הדינמיקה הפרועה והמתעתעת של השוק האזרחי לבין מסורת העבודה של הארגונים הביטחוניים. מערכת הביטחון בישראל משקיעה מאמץ רב להצטרף למגמה הזאת

סא"ל (מיל') אריה / רמ"ח מתקני תשתית ביחידה למחקר ולתשתית טכנולוגית (מת"ט)

ועל סף הופעתו של המחשב האישי. ("פט" של "קומודור" ו"מקינטוש" של "אפל" קדמו במעט למחשב האישי הידוע של IBM).

הדברים נאמרו לא על-ידי סתם אדם מהרחוב, וגם לא

על-ידי פוליטיקאי, אמן או איש דת. אמר אותם קן אולסן, נשיאה ומייסדה של חברת "דיגיטל", שהייתה בין המובילות בתחום המיני-מחשבים בשנות ה-70 (דגמי PDP ו-Vax של "דיגיטל" התחרו בדגמי 2100 של HP ובדגמי "נובה" ו"אקליפס" של "דטה ג'נרל").

מה שמפתיע בהצהרה הזאת הוא שגם ההולכים לפני המחנה – מובילי הפיתוח והשיווק של המחשבים הקטנים

בסוף שנות ה-70 – לא העלו על דעתם את הפוטנציאל העצום והרחב שהיה למוצרים האלה לא רק בתחום היישומים ההנדסיים, המדעיים, הצבאיים והמסחריים, אלא

דווקא בתחום הצריכה הפרטית. ניתן לתרץ את הרציונל שהנחה את הקביעה הנחרצת הזאת בנתונים ובשיקולים הבאים:

- מחירו של מחשב "קטן" בשנות ה-70 נע בסביבות חצי מיליון דולר יחד עם הציוד ההיקפי שלו (למשל: מדפסת "טלטייפ" בגודל של שולחן וכוונן דיסק קשיח בגודל של מכונת כביסה).
- הציוד הזה תפס נפח של משרד או של חדר מגורים שלם.

מחשב פרטי בבית?

"בכל העולם יש מקום לחמישה מחשבים לכל היותר". קביעה מפתיעה זו נאמרה על-ידי תומס ווטסון, יו"ר IBM ב-1943, והיא אינה כל כך מפתיעה על רקע התקופה. צריך לזכור שבשנות ה-40, טרם המצאת הטרנזיסטור, ולפני שהפיזיקה של המוליכים למחצה נרתמה לרשות האלקטרוניקה, המחשב (שכונה אז "מוח אלקטרוני") היה בעל כוח חישוב קצת יותר חזק משל מחשבון כיס דהיום, והוא היה מבוסס על שפופרות ריק ועל ממסרים אלקטרומכניים. היה זה מתקן בגודל של סופרמרקט, שהיה כרוך בעלויות של מיליוני דולרים, וברור שרק ארגון או מדינה בסדר גודל של מעצמה עולמית יכלו להרשות לעצמם לפתח ולהחזיק מתקן בסדר גודל כזה.

אם את האמירה של יו"ר IBM ניתן אולי להבין, אז מה דעתכם על ההתבטאות הבאה:

"אין כל סיבה בעולם שלאדם פרטי יהיה מחשב בבית". הצהרה מדהימה זו לא הושמעה בימי הביניים, אלא ב-1977, לאחר שהמיקרופרוססור 8080 של "אינטל" כבש את העולם, לאחר חדירת המיני-מחשבים (דוגמת HP 1000) כמעט לכל תחומי ההנדסה, לאחר הופעת המחשב השולחני בעל היכולת לשלוט על מכשור אוטומטי באמצעות ממשק הבקרה GPIB,

גם ההולכים לפני המחנה לא העלו על דעתם את הפוטנציאל העצום והרחב שהיה למוצרי המחשב לא רק בתחום היישומים ההנדסיים, המדעיים, הצבאיים והמסחריים, אלא דווקא בתחום הצריכה הפרטית

התנאי של משפט הקיום הוא אלמנטרי. אם בכוונת המתכנן לזווד מנגנון אלקטרוני כלשהו בתוך ראש קרבי של פגז או של טיל, עליו להתכנס לממדים המוגבלים של החימוש, להשתלב בכל מערכותיו המכניות והאווירודינמיות, ונוסף על כך עליו לעמוד בתנאי סביבה חריגים (טמפרטורה והלם מכני) האופייניים לתהליך השיגור. מערכות כאלה קיימות כבר כמה שנים (למשל, מרעומי קרבה), אך תפקודן מוגבל עקב אילוצי הנפח והזיוד. כל ניסיון לבצע באמצעות אותו מנגנון אלקטרוני משימה מעט יותר מורכבת (למשל,

באופן הדוק יותר למערכת הביטחון. השאלה המתבקשת היא האם קדמת הטכנולוגיה הכרחית ליישומים הביטחוניים, ואם כן, האם ניתן לתת מענה ליישומים האלה על בסיס התשתית הקיימת בשוק האזרחי. התשובה לשאלה הראשונה היא חיובית, אף שכללי השוק של המוצרים הביטחוניים שונים בתכלית מאלה של הצריכה הפרטית. גם כאן באה הטכנולוגיה לענות על שני תנאים בסיסיים: משפט הקיום וההיתכנות הכלכלית.

טכניקת המזעור ומגבלותיה

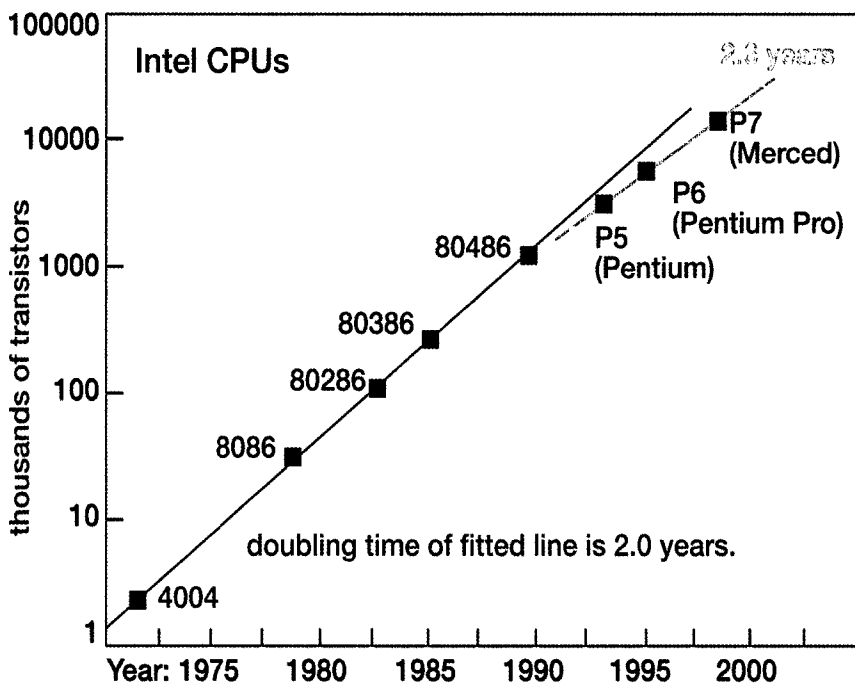
הגידול במספר הטרנזיסטורים על גבי שבב (על-פי חוק מור: 100% בשנה וחצי, שהם כ-58% בשנה) בנוי משני תהליכים משלימים. התהליך העיקרי הוא הקטנת ממדיו של הטרנזיסטור הבודד, והתהליך המשני הוא הגדלת השטח הכולל של השבב – הגדלה ששומרת גם היא על מגמה יציבה זה יותר מ-25 שנה (כ-13% בשנה). הפועל היוצא מהמספרים שהובאו לעיל הוא כי שטח הטרנזיסטור הבודד קטן בקצב של 29% בשנה, כלומר הוא יורד למחצית משטחו כל שנתיים. לפיכך ממד האורך של הטרנזיסטור יתנהג לפי שורש ריבועי, דהיינו הוא יירד למחצית מגודלו כל ארבע שנים. לתהליך זה יש השלכה ישירה על הממד הקריטי של הטרנזיסטור – אורך ה"שער" ("Gate"), שהוא האיזור הפעיל בו, מכיוון שממד זה משפיע על ביצועיו. (הסיבה העיקרית להקטנת הממדים קשורה לאו דווקא למזעור המוצר הסופי, אלא להגדלת מהירותו. על כך בהמשך). הדור הטכנולוגי הנוכחי של מעבדי "אינטל" המיוצרים בארץ מבוסס על שער באורך 0.18 מיקרון. מעבדי "אינטל" בחו"ל מקדימים בדור אחד (כשנתיים), והם מבוססים על שער של 0.13 מיקרון, ובמעבדות הפיתוח כבר שוקדים על הדור הבא – 0.09 מיקרון (שהם 900 אנגסטרום). אם תימשך המגמה הנוכחית של הקטנת הממד למחצית כל 4 שנים, נגיע בעוד 20 שנה לממד של 28 אנגסטרום. גודל זה, המתקרב לסדר גודל אטומי, מהווה מגבלה פיזיקלית, מכיוון שחוקי הפיזיקה הקוונטית מכתבים לאלקטרונים התנהגות שונה לחלוטין מאלה של הפיזיקה הקלאסית, כפי שהם מוכרים בעולם ה"מאקרו". ההתקן האלקטרוני כבר לא יתפקד באופן הצפוי, ולפיכך ניתן לראות בגודל הזה חסם פיזיקלי. כאן אולי המקום לענות על השאלה מדוע מתרכז המאמץ הטכנולוגי בהקטנת ממדי ה"שער" של הטרנזיסטור. ובכן, הסיבה העיקרית למאמץ הזה אינה דווקא השאיפה לצופף ולמזער את ההתקנים (אף שהמגמות האלה יוצאות נשכרות), אלא השאיפה להגדיל את מהירות הפעולה של ההתקנים.

כדי שהתקן אלקטרוני הממומש על-ידי טרנזיסטור מסוג FET (בין אם זה מגבר ליניארי או יחידת חישוב ספרתית) יתפקד כהלכה, נדרש שזמן המעבר של האלקטרונים דרך האיזור הפעיל של הטרנזיסטור (שהוא ה"שער") יהיה קטן בהשוואה לזמן המחזור של הפעולה (הנקבע על-ידי תדר האות במעגל ליניארי או על-ידי תדר ה"שער" במעגל ספרתי). זמן המעבר הנ"ל מתקבל על-ידי חלוקת אורך השער במהירות התנועה של האלקטרונים. מהירות זו מוגבלת על-ידי התכונות הפיזיקליות של החומר (ובסיליקון יש לה ערך מוגדר וידוע), ולכן הדרך היחידה להקטין את זמן המעבר היא להקטין את אורך השער. מגמה זו היא המאפשרת (בין היתר) לדורות האחרונים של מעבדי "פנטיום" של "אינטל" להגיע לקצב שער של יותר מ-2 גיגהרץ.

קיימת גם אפשרות להגדיל את מהירות התנועה של האלקטרונים על-ידי החלפת הסיליקון בחומרים אחרים בעלי "ניידות אלקטרונית" גבוהה יותר – כגון סיליקון-גרמניום או גליום-ארסניד. זה האחרון, כפי שהוזכר קודם, הוא החומר השימושי ביותר כיום ליישומים בתחום המיקרוגל – מתקשורת סלולרית ועד תקשורת לוויינים – והוא מאפשר באורך שער של כ-0.1 מיקרון להגיע לתדרי הגלים המילימטריים (מעל 30 גיגהרץ). השבבים הממומשים בחומר הזה הם בעיקר של מעגלים אנלוגיים – מגברים, משדרים ומקלטים, המשמשים לתקשורת בכל הסקאלות – מתקשורת לוויינים, דרך הסלולר ועד קישור אלחוטי בין מחשב למדפסת (ולצידו היקפי אחר), שצפוי בעתיד הקרוב להחליף את ערמת הכבלים הידועה לשמצה.

ובכן, לשאלת המפתח: עד מתי יימשך המזעור? אם אכן תמשיך ההתפתחות בטכנולוגיה הנוכחית לציית לחוק מור, צפוי לה אופק של כ-20 שנה, עד שתגיע לחסם של המגבלה הפיזיקלית. ומה יהיה אחר כך? ובכן, בתור כבר ממתנינות טכנולוגיות מסוג אחר – החל ב"התקנים ביולוגיים", דרך "התקנים מולקולריים" וכלה ב"מחשבים קוונטיים". טכנולוגיות אלה (שניתן לכוונן אותן באופן כולל "נאו-טכנולוגיות", להבדיל מעולם ה"מיקרו" המאפיין את הטכנולוגיה הנוכחית) הן ללא ספק נושא למאמר נפרד, ולפיכך לא ארחיב עליהן את הדיבור כאן.

התנהגות אופיינית על פי "חוק מור", כפי שבאה לידי ביטוי במעבדי "אינטל" לדורותיהם



בשנות ה-70 וה-80 שלטו ברמה המפרטים הצבאיים שהכתיב צבא ארה"ב. הדבר איפשר להעמיד קווי ייצור של רכיבים, שהיו אמורים לעמוד בדרישות האמינות ובתנאי הסביבה של המערכות הצבאיות, אך המחיר הכבד שולם בעלות הבלתי נסבלת של הרכיבים האלה, וגרוע מכך – סבב הפיתוח התארך ללא נשוא. התהליך לקח זמן וגרם לכך שהרכיבים, שעברו את שבעת מדורי הגיהנום עד שהגיעו לשוק הצבאי, פיגרו בכמה דורות אחרי המגמה הטכנולוגית בעולם האזרחי. במילים אחרות: המערכות הצבאיות, שבפיתוחן הושקעו תקציבי עתק, נידונו מראש להיות מיושנות מהיום הראשון של יציאתן לשדה. מצב זה היה בלתי נסבל וחייב שינוי.

בתחילת שנות ה-90 חולל

משרד ההגנה האמריקני מהפך

בכך שקבע כי פרויקטים צבאיים ישתמשו ברכיבים אזרחיים, וכי ההקשחה לעמידה בתנאי הסביבה תבוצע לא ברמת הרכיב הבודד, אלא ברמת המערכת. קביעה זו, יחד עם פיתוח טכנולוגיות זיווד חדשניות, איפשרה למערכות הצבאיות ליישר קו ולהתייצב בחזית הטכנולוגיה, תוך הסתמכות מרבית על ההיצע של השוק האזרחי.

ניווט וזיהוי מטרות) מחייב שימוש בטכנולוגיה של מזעור מסיבי. התוצאה: מי שאינו מסוגל או שאינו יכול להרשות לעצמו לשלב במערכות הלחימה שלו טכנולוגיות חדשניות, יישאר לעולם בפיגור של מספר דורות טכנולוגיים, והדבר יתבטא ביכולת הביצוע של מערכות לחימה אלה. תנאי ההיתכנות הכלכלית הוא מורכב יותר. גם אם ניתן

התוכניות הרב-שנתיות במערכת הביטחון - תר"ש או טר"ש?

גם מערכת הביטחון בישראל קיבלה את הכלל, שלפיו ייעשה שימוש ברכיבים אזרחיים תוך הסתמכות מרבית על התשתית הטכנולוגית-המסחרית הקיימת בארץ ובחו"ל. על-פי הכלל זה כווננו להשקעות של מערכת הביטחון להקמת תשתיות רק באותם תחומים,

שבהם זוהו פערים שלא היה להם מענה קיים וזמין. בתחילת שנות ה-90 התחיל משרד הביטחון – באמצעות מפא"ת (המנהל למחקר, פיתוח אמל"ח ותשתית) – להשקיע בתוכניות רב-שנתיות (תר"שים) כדי להביא לסגירת פערים טכנולוגיים לעומת חזית הידע בעולם. התוכנית הראשונה שיצאה לדרך הייתה בתחום האלקטרואופטיקה, וליתר דיוק

מי שאינו מסוגל או שאינו יכול להרשות לעצמו לשלב במערכות הלחימה שלו טכנולוגיות חדשניות, יישאר לעולם בפיגור של מספר דורות טכנולוגיים, והדבר יתבטא ביכולת הביצוע של מערכות לחימה אלה

יהיה מבחינה טכנולוגית לפתח מערכת נשק מתוחכמת, שתענה על התנאי של משפט הקיום, היא לעולם לא תגיע לייצור המוני, אם מחיר המוצר יעלה בסדרי גודל על מחירו של פריט מקביל מהדורות הקודמים, והדבר נכון במיוחד לגבי פריטי חימוש מתכלים, כגון פגזים וטילים. מכאן שכמו במקרה של הטלפונים הסלולריים בשוק האזרחי, נדרשת פריצת דרך טכנולוגית, שתאפשר לא רק זיווד קומפקטי ועמיד בתנאי סביבה קשים, אלא גם תהליכי ייצור מוזלים, שיאפשרו למוצר להיות אטרקטיבי גם במחיר.

באשר לשאלת ההסתמכות על השוק האזרחי – ניתן לקבוע באופן כמעט אקסיומטי, כי ייצור מוצרים צבאיים יסתמך על הטכנולוגיה הזמינה מהשוק המסחרי בכל מקום שהדבר יתאפשר.

בסיליקון, וכן לאור העובדה שקבלת שירות ממפעלים דומים בחו"ל אינה מובטחת באופן יציב ותלויה בשיקולים מסחריים, פוליטיים וביטחוניים (מגבלות של רשיון יצוא, הצהרת משתמש סופי וכו').

המפעל הוקם בחברת "אלתא" בהשקעה ראשונית של כ-20 מיליון דולר, שהתחלקה בין "אלתא" (השקעה במבנה), משרד הביטחון (השקעה בציוד ובמכונות) ומשרד התעשייה והמסחר (השקעה בכוח אדם). בשנת 2000 הצטרפה רפא"ל כשותפה מלאה, והמפעל מוגדר היום כשותפות בשם "גלאל-ממיק".

ב-1997 הוכרה התוכנית באופן רשמי כתוכנית רב-שנתית במשרד הביטחון, ולהשקעות של מפא"ת בנושא הצטרף גם המטה לרכיבים קריטיים של מנהל הרכש (מנה"ר). כיום עומד מפעל "גלאל" בשלבי הסיום של פיתוח, הוכחה ואימות של תהליכים טכנולוגיים, שיאפשרו לייצר רכיבי MMIC על גבי פרוסות גליום ארסניד. רכיבים אלה יספקו את צורכי התעשיות הביטחוניות וכן יופנו לשווקים אזרחיים, מכיוון שיכולת הייצור הפוטנציאלית של המפעל תהיה גבוהה מהצריכה הצפויה של הלקוחות הביטחוניים.

נוסף על הקמתו של מפעל הרכיבים נעשתה פעילות גם בתחום של הקניית יכולת התכן (Design) באמצעות הכשרת כוח אדם ובאמצעות רכש של כלי תכן ממוחשבים. יכולת התכן של רכיבי MMIC נמצאת היום בידי מספר קבוצות, שהגדולה שבהן נמצאת ברפא"ל.

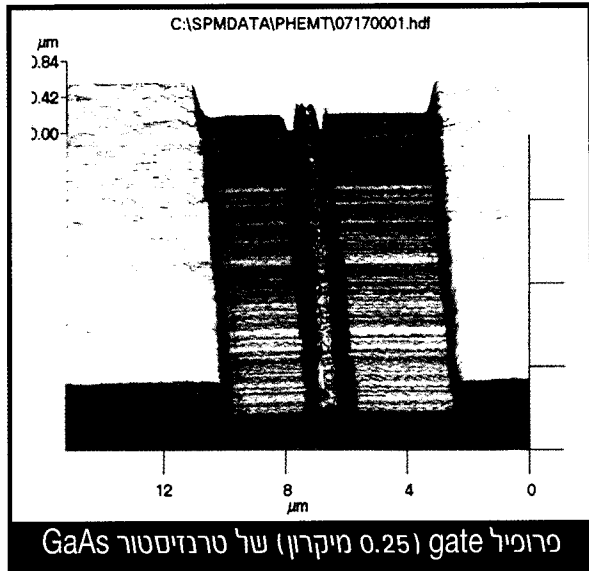
בימים אלה נמצאת התוכנית קרוב למחצית הדרך מבחינת הגשמת היעדים. קיימות יכולות מוכחות לתכן ולייצור של רכיבי MMIC ברמת השבב, והיעדים שבדרך הם:

- השגת יכולת תכן ליחידות מורכבות ברמת מודול.
- הקמת מתקן לייצור ולהרכבה של מודולים.
- השגת יכולת אינטגרציה של מודול שלם, שימש בתור מדגים טכנולוגי לתוכנית.

- השגת יכולת בדיקה בכל הרמות – מרמת ההתקן הבודד על גבי פרוסת גליום ארסניד ועד לרמת המודול המורכב. היעד שנראה היום בקצה הדרך הוא שילוב של כל היכולות שהוזכרו והטמעתן בשלבי הפיתוח של פרויקטים אמיתיים.

זיווד זה כבר לא רק קופסאות

אחד היעדים שהוזכרו קודם להמשך התוכנית היה קשור לייצור ולהרכבה של מודולים, או במילה אחת: זיווד. הזיווד האלקטרוני הקלסי, כפי שהוא מוכר לנו משנות ה-70 (וכפי שהוא ממומש גם במכשירים מודרניים, דוגמת המחשב הביתי), מתחיל ברמת השבב, ששטחו הוא מספר



– בתחום הגלאים. במסגרת התוכנית הזאת קודמה יכולת הפיתוח של מערכות הדמיה תרמיות עבור חימוש ועבור מערכות תצפית לראיית לילה. המפעל העיקרי למימוש התוכנית הזאת הוא מפעל המ"מ (התקני מצב מוצק) – שותפות של שני הצרכנים העיקריים בתחום הזה – רפא"ל ו"אלאופ".

בד בבד עם ההשקעה בהמ"מ (אשר כוונה הן לפיתוחן של תשתיות ייצור והן לפיתוחן של אבני בניין עבור האפליקציות עצמן) מבוצעים גם מחקרים במוסדות אקדמיים (בעיקר בטכניון), ונבנות התשתיות גם לייצור חומרי המוצא (סוגים שונים של גבישי מצב מוצק), שעליהם מבוססים הגלאים.

תוכנית רב-שנתית נוספת של מערכת הביטחון היא "תר"ש מיקרואלקטרוניקה", שמטרתה היא להקנות לתעשייה הביטחונית עצמאות בתכנון ובייצור של רכיבים (שבבים ומודולים) לתדר גבוה

כתדרי מיקרוגל. הרכיבים האלה משמשים אבני בניין חיוניות עבור מערכות תקשורת, מכ"ם, לוחמה אלקטרונית וראשי ביות לפעולה בכל מזג אוויר.

ראשיתה של התוכנית ב-1993 בשיתוף פעולה בין משרד הביטחון לבין משרד התעשייה והמסחר. במסגרת תוכנית מגנ"ט (מחקרים גנריים טכנולוגיים) של משרד התמ"ס הוקם קונסורציום של תעשיות ושל מוסדות מחקר, שהמובילים בהם היו "אלתא" רפא"ל ו"אלישרא". ההשקעה העיקרית בתוכנית הייתה בהקמת מפעל לייצור שבבים לתדר גבוה בטכנולוגיית MMIC על גבי חומר מוליך למחצה מסוג גליום ארסניד (GaAs). הקמת מפעל כזה זוהתה כצורך חיוני, מכיוון שהמפעלים האחרים לייצור שבבים בארץ עוסקים רק

האנרגיה ועל-ידי כך להקטין את הגודל ואת המשקל של המוצר הסופי. התוצאה - במקרה של טלפון סלולרי - היא מערכת הכוללת מקלט, מעבד אותות שמע, מחוללי אותות, משדר, מערכת בקרה ותצוגה, והכול בגודל ובמחיר של חפיסת סיגריות. הקטנת הגודל והמשקל מקנה גם עמידות בתאוצות (מי סופר כמה פעמים נפל הטלפון הסלולרי על הרצפה ולא ניזוק?)

התפיסה שתוארה לעיל אינה קלה למימוש. היא מחייבת שימוש בחומרים מיוחדים לחיבור ולהדבקה, תכן יצירתי שיאפשר סילוק חום יעיל, וכן - במקרה של פעולה בתדר גבוה - גם תכן אלקטרומגנטי מדויק, שיביא בחשבון את השפעת האריזה על ההתנהגות האלקטרומגנטית של הרכיבים וימנע את הצורך בביצוע כיוונים וכיולים לאחר ההרכבה.

מימושה של טכנולוגיה זו כרוך בהשקעה התחלתית גדולה - בידע, בכלי התכן והסימולציה, ברכש כלים וחומרים ובהקמת קו הייצור. אולם השקעה זו מהווה במקרים רבים תנאי הכרחי להצדקת הקיום של המערכת, ובמקרה של הצטיינות בכמות גדולה - מתאפשר גם החזר של ההשקעה על-ידי הוזלת תהליכי הייצור, הגדלת האמינות ושיפור היכולת לתחזק את המוצר.

סיכום: מנסים ליישר קו

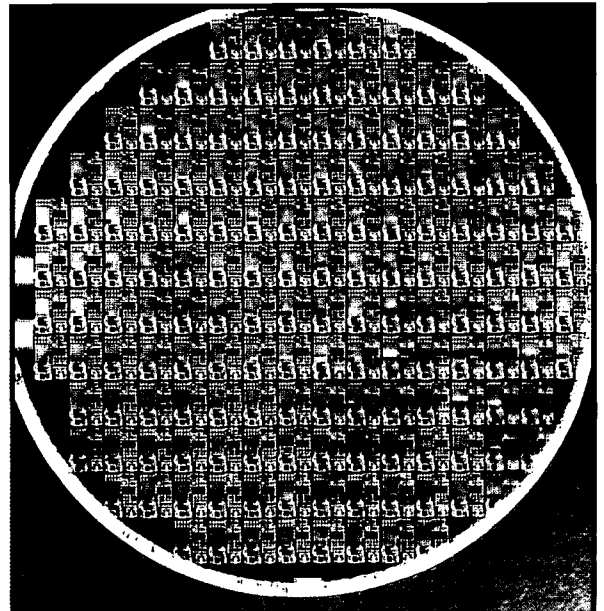
הטכנולוגיה האלקטרונית בעולם נמצאת במגמה עקבית של התפתחות לכיוון של מזעור, של הוזלה ושל העלאת תפוקת העבודה. המגמה הזאת נמשכת כבר יותר מ-30 שנה, ואם תימשך ההתפתחות החזויה על-פי עקרון מור, יש לטכנולוגיה הנוכחית אופק של כ-20 שנים נוספות. מעבר לאופק הזה כבר ממתניות תפיסות טכנולוגיות חדשות, הבנויות על עקרונות פיזיקליים אחרים.

בעשור האחרון החל תהליך של יישור קו בין פיתוח היישומים הביטחוניים לבין חזית הטכנולוגיה האזרחית במאמץ לאפשר למערכות הצבאיות ליהנות מהיכולות ומהביצועים שמאפשרת הטכנולוגיה האזרחית. התהליך הזה אינו פשוט, כי הוא יוצר ניגוד בין דינמיקה הפרועה והמתעתעת של השוק האזרחי לבין מסורת העבודה של הארגונים הביטחוניים, המבוססת על תהליכי קבלת החלטות וכן על פיתוח ורכש בקבועי זמן ארוכים.

מערכת הביטחון בישראל משקיעה מאמץ רב להצטרף למגמה הזאת, והדבר בא לידי ביטוי גם בתקציב (שהוא גדול מאוד בקנה מידה ישראלי) וגם בשינוי של דפוסי מחשבה מסורתיים ואימוץ דרכי פעולה בלתי שגרתיות, תוך ניסיון להסתגל לסביבה משתנה ודינמית, המאפיינת את עולם האלקטרוניקה העכשווי.

מילימטרים רבועים. שבר כזה, כשהוא מזווד באריזה סטנדרטית (פלסטית או קרמית) ומצויד במוליכים חשמליים, גדל בקירוב עד פי 10 משטחו המקורי. מספר רכיבים כאלה, המולחמים על גבי לוח מודפס, מגדילים שוב את השטח הנתפס פי 10.

כמה כרטיסים מודפסים כאלה נתקעים לתוך מחברים, המחויטים על גבי לוח אם, וכל הכבודה הזאת מותקנת בתוך קופסה כדי לבודד אותה ולהגן עליה מפני הסביבה. כל המבנה הזה מכיל גם התקני חיבור מכניים, מחברים חשמליים, חיווט, ספקי כוח ואמצעים לסילוק חום. משקלו ונפחו גדולים



שבבי MMIC (כ-140 במספר) ע"ג פרוסה ("WAFER") של GaAs בקוטר "3 טרם החיתוך"

בכשישה סדרי גודל ויותר לעומת הנפח והמשקל של רכיבי הסיליקון האקטיביים, שבעצם מבצעים את העבודה. אין בכך כל רע (מלבד אולי המחיר), כל עוד המוצר נועד להיות מוצב על שולחן יציב בחדר ממוזג. אך המצב שונה כאשר המוצר אמור להיות נישא בכיס (כמו טלפון סלולרי) או להיות מזווד בתוך חרטום של פגז טנק. ההבדל בין המוצר המסורבל והיקר לבין המוצר הקומפקטי והזול נעוץ כמעט כולו בזיוד. תפיסת הזיוד המתקדם מתחילה בשבבים מרובי פונקציות (Multifunction). רכיב כזה אינו יכול להיות סטנדרטי מהמדף, ונדרשת בו התאמה לאפליקציה (קונספט VLSI-ASIC ברכיבים ספרתיים או MMIC ברכיבי RF אנלוגיים). שבר זה לא יהיה בעל אריזה אינדיווידואלית. מספר שבבים כאלה, שמוצמדים למצע רב-שכבתי (שבו המוליכים הפנימיים תופסים את מקומו של החיווט), מאפשרים לממש מערכת שלמה באריזה מאוד צפופה. הקטנה של מספר הרכיבים מאפשרת גם לצמצם את מקורות