

איפיון של מערכי לייזרים – VCSEL ואחרים

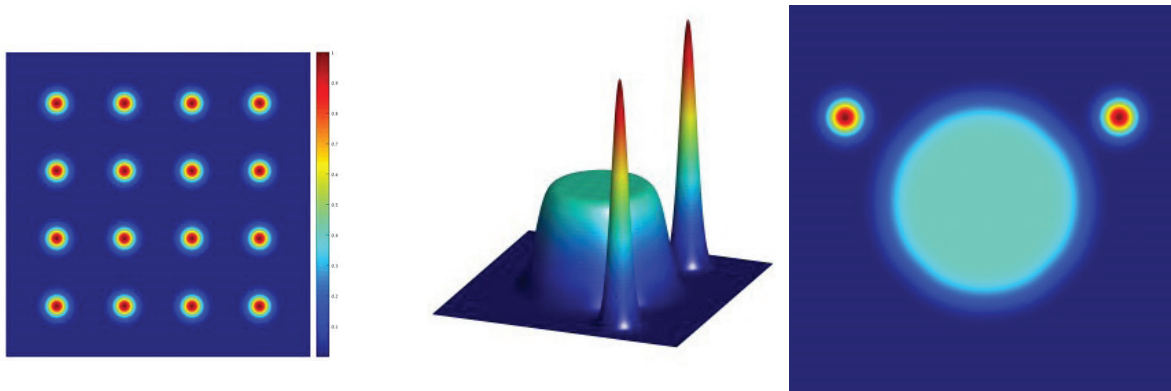
אורן אהרון, CTO חברת דומא אופטרוניקה בע"מ

ב

עקבות ההתרחבות המהירה של האפשרויות והשימושים של לייזרים מודרניים, נוצר אתגר חדש של מדידת תהליכים הכוללים לייזרים, ובו נדרשת מדידה של מספר קרני לייזר במקביל והשוואה ביניהם. במיוחד אנחנו נדרשים לאפשרויות האלה בין מפתחי אפליקציות חדשות כגון זיהוי תנועות ידיים, זיהוי תלת מימדי של פני המשתמש, נהיגה ברכבים אוטונומיים וכן אינספור אפליקציות אחרות. באופן פרטני יש לציין את השימוש שעושים באייפונים חדשים אשר על ידי הקרנה של כ-30,000 נקודות לייזר בתחום ה-IR מצליחים לשחזר בתלת מימד את פני המשתמש ועל ידי כך מזהים ברמות אמינות גבוהות באופן אוטומטי את פני המשתמש. הטכנולוגיות הנ"ל מתאפשרות על ידי קפיצת המדרגה בתחום הוקסל (VCSEL – Vertical Surface Emitting Laser) המאפשר בניית מספר רב של לייזרים על פרוסת סיליקון והפעלתם במקביל. האלומות שמתקבלות מאופיינות באיכות גבוהה ואמינות. התחשבות בצורכי המדידה המודרניים מציבה אתגרים מיוחדים גם בתחום התכנון וגם בתחום הביצוע של מדידות אפיון הלייזר. בנוסף, טכנולוגיות כגון כיוון

מדויק של פרוסת סיליקון יכולות להנות מהמכשור החדש של מדידת אפיון הלייזר וכיוונו במרחב. ניתן לומר שהתכונות העיקריות שרוב המשתמשים מעוניינים לבדוק הן אחידות פרופיל האלומה, השוואה בין פרופיל האלומה של מספר לייזרים כפי שהם מיוצרים על ידי וקסל, כיוון הלזירה במרחב, יציבות, עוצמה כפונקציה של זמן וכו'. כדי לבדוק ולהעריך מערכות לייזר בהספקים גבוהים היכולות לעתים לזור בעוצמות העולות על 1 קילו-וואט לס"מ מרובע ממקור בודד, מקובל להפעיל טכנולוגיות מיוחדות המאפשרות לדגום את הקרן ולנתח את ביצועי הקרן הנדגמת והמייצגים את הנתונים של הקרן המרכזית. כאשר ללייזרים עצמם, על מנת להשיג עוצמות גבוהות, בדר"כ משולב בהם מדידי טמפרטורה, מדידי עוצמה, קירור פעיל וכו'. בבואנו לנתח אלומות לייזר העובדות במקביל, ישנה משמעות גבוהה ליחסים ההדדיים בין הלייזרים, הן בעוצמה, מיקום, ויציבות יחסית ביניהם. בתעשייה ניתן למצוא גם כיום שבבים המורכבים מאלומה או שתיים ועד ל-30,000 אלומות על שבב בודד!

אופן אחר בו ניתן לייצר מספר מקורות במקביל הוא ע"י שימוש ב-DOE – Diffractive Optical Elements שמקבלים רוח גבית ושימושים מרובים בתעשייה בייצור ומקורות בעלי אופיין מסויים לקרן ומפצלים את הקרן לקרניים מרובות. בתמונות הבאות ניתן לראות פיצול אופייני של קרן בודדת למס' קרניים: טכנולוגית הוקסל מאפשרת לצופף מס' רב של לייזרים על שבב בודד. פועל יוצא מכך שההספק הנפלט לינארי במימדי השבב. כל אחד מהלייזרים עצמאי וזהה לשכניו וחיבורם לאותו מקור הספק יגרום להם לקרון במקביל. חיווט שונה בין אזורים אמנם מאפשר לזירה בתבניות שונות, אך עלולות להיווצר תופעות לוואי הגורמות לסטיות בהספק ובהתברדות האלומה, כגון חימום יתר ואי-דיוקים גיאומטריים. בחירה מדוקדקת של נתח-אלומה, כפי שיוסבר בהמשך, תאפשר ניתוח מקבילי של המקורות והשוואה של השדה הקרוב והרחוק. ריבוי היישומים מעמיד בפנינו אתגר, עלינו לספק טכנולוגיה יעילה ומדויקת, המאפשרת מדידה של מספר קרניים בודדות ועד אלפי קרניים במקביל. המדידות תספקנה מידע



איור 1: פיצול קרן אופייני ליישומי הלחמות.

איור 2: דוגמה לפיצול אלומה ל-16 תתי-אלומות.

יחסית, פרופיל אלומה ויציבות לאורך זמן. נתונים אלו ואחרים נשמרים ומוצגים בצורה נוחה להמשך אנליזה.

כפי שמוצג באיור 5, בנוסף לבהירות יחסית בזמן-אמת של כל אלומה, למשתמש ישנה אפשרות לפתוח חלון תוצאות ובו מפורטים באופן ברור נתוני כל נתח-אלומה וירטואלי בנפרד. ניתן לראות נתונים כמו רוחב פרופיל האלומה בשלוש רמות שונות ונתוני מיקום האלומה. עבור פירוט מלא, ניתן ליצא ולשמור קובץ נתונים לא-גרפי בזמן-אמת.

לצורך המחשה מיטבית, שחזור תלת ממדי של כל האלומות יחדיו (ראה איור 6) מחושב ומוצג במערכת הצירים של חיישן המצלמה.

אם נרצה לבצע אפיון בשדה-הרחוק, נציב עדשה לא-מעוותת (non-distorting), כך שאזור המוקד שלה יהיה ממוקם על פני השטח של השבב. במקרה זה, עבור אלומות 'קטנות', זווית ההתבדרות של כל אלומה ניתן לפי היחס בין קוטר האלומה למרחק

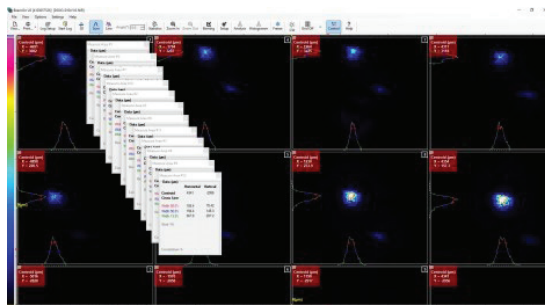
באיורים 3 ו-4 מוצג לדוגמא מערך לייזר המיוצר על פיסה משותפת של סיליקון (One-die laser array), אותו ניתן לנתח ולאפיין כפי שיוסבר בהמשך. אם נרצה לעמוד על טיב השדה הקרוב והרחוק, נוכל לבצע זאת ע"י צימוד עדשה לנתח האלומה, וביצוע המדידות כאשר העדשה מכוונת לאינסוף וממוקדת על פני שטח המערך. לחילופין, עבור אלומות עם התבדרות 'לא גבוהה', ניתן פשוט לקרב או להרחיק את נתח האלומה מהמערך. מדידה אופיינית של אלומה, מבוצעת ע"י נתח-אלומה המבוסס על מצלמה ברזולוציה-גבוהה. בחירה אוטומטית של אזורי דמיון הלייזר על גבי נתח האלומה מאפשר ניתוח מקבילי של כל הקרניים על ידי גלאי אחד המחולק למספר נתחי אלומה העובדים במקביל.

הסט-אפ לעיל למעשה מתפקד כמו מערך מקבילי של נתחי-אלומה נפרדים ועצמאיים לחלוטין, בו כל אלומה מאופיינת לחוד, אך נוסף על זאת ישנן מדידות אופייניות למערך כולו, כגון: מרחק בין אלומות, בהירות

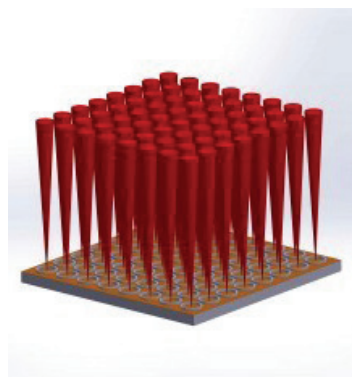
על פרופילי האלומות ועל המצב ההדדי ביניהן. נוסף על כך, על מדידות אלו לכסות טווח רחב של אורכי גל ודרגות הספק.

למדוד ובקלות

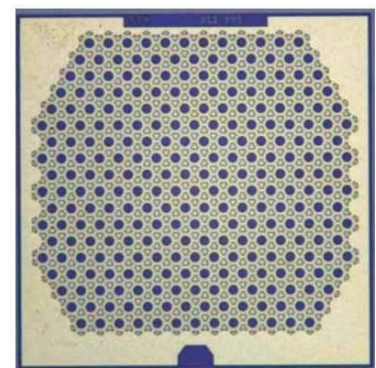
כמענה לאתגר הנ"ל, פותח נתח-אלומה ברזולוציה-גבוהה (2.4 מגה-פיקסל, טווח מדידה אפקטיבי 11 מ"מ² X 7 מ"מ²) המאפשר מדידת פרופילי האלומה המקבילים ביניהם וזאת בזמן-אמת. נתח-אלומה זה מאפשר הגדרה של אזורים במצלמה המתאימים לאלומות המוקרנות על פניהם ולנתח כל אחד מהם לחוד ועל ידי כך ליצור מספר נתחי אלומה העובדים במקביל וכל אחד מנתח את האלומה הנדרשת. בחירה של מס' האלומות המיועדות לניתוח בהתאם לשבב הנבדק. זוהי טכנולוגיה חיונית המתאימה לפסי ייצור המוני לביצוע מדידות תוך-כדי-תהליך. מנחתים אופטיים מיוחדים ודוגמי אלומה מותאמים מאפשרים מדידה של דרגות הספק שונות, כולל לייזרים בהספק גבוה.



איור 5: תצוגת ניתוח מערך אלומות



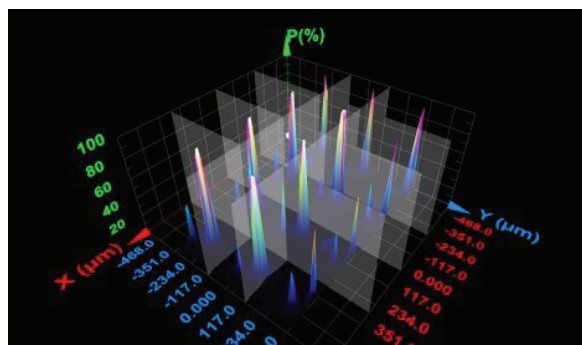
איור 4: One-die laser array. באדיבות Duma Optonics.



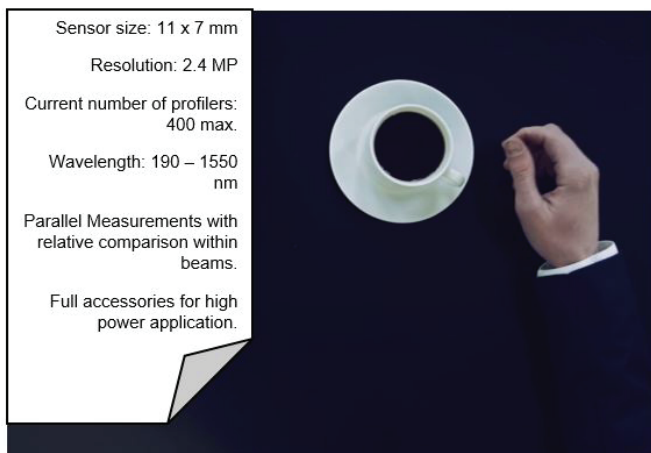
איור 3: מערך וקסל בהספק גבוה אופייני, (באדיבות Finisar corp).



איור 7: BeamOn U3 High-Power Beam-Profiler - נתח אלומות בעוצמה גבוהה במיוחד משולב עם דוגם אלומה ואלמנט קירור בלחץ גבוה. באדיבות Duma Optonics.



איור 6: שחזור תלת-ממדי של לייזר רב-אלומה באדיבות Duma Optonics.



איור 8: סיכום המיפרט של מערכת המדידה המוצעת

באיור 8 נסכם את המיפרט המוצע למערכת המדידה:

מסקנות

מערכת שמיועדת למדידה מקבילית של מספר אלומות והשוואה ביניהן בשדה הרחוק והקרוב, פותחה על מנת לענות על הצרכים המתהווים בטכנולוגיית הלייזרים בכללה ובמיוחד ללייזרים מסוג VCSEL המהווים תחום חדש שיושם ב-Mass Production. www.dumaoptronics.com

לנתחי אלומה באיכות ורזולוציה גבוהים פוטנציאל אדיר בשווקים החדשים העוסקים בניתוח מספר אלומות או מקורות במקביל. ניתוח אלומות מקבילי יעניק ליישומים כגון LIDAR, עיבוד חומרים ואפליקציות רפואיות שונות דיוק ואיכות עילאיים, ואף תפוקת ייצור ובקרת איכות משופרות, שיפור רב בהפחתת זמן המדידה וקבלת החלטה לגבי GO – NO לשם הגברת הניצולת של מערכות מבוססות לייזר.

המוקד, כאשר קוטר האלומה מוגדר לפי המיקום בחתך בו עוצמתה יורדת ל-13.5% מעוצמתה במרכז.

$2 \cdot \omega_{0.13.5\%}$, where ω_0 is radius of beam profile at 13.5% level.

ליישומים בהספק גבוה, שמדידה ישירה אינה ניתנת לביצוע, נשתמש בדוגם אלומה רפלקטיבי אשר דוגם חלק קטן מהאלומה ומאפשר הסטה לאלומה העיקרית. דבר זה מאפשר למכשיר המדידה למדוד חלק בעל עוצמה נמוכה יחסית לאלומה המרכזית, אך מייצג את המבנה ואת הפרופיל של האלומה המרכזית.

באיור 7 ניתן לראות דוגמה למכשיר המיישם פתרון מסוג זה עבור לייזרים בעוצמה גבוהה במיוחד. ניתן לראות שלצורכי קירור המערכת מצוידת במתאם שדרכו ניתן להזרים אוויר בלחץ גבוה המקרר באופן אקטיבי את האזור שבו יש אינטרקציה בין הקרן הנכנסת לאלמנטים האופטיים הדוגמים אותה. לחץ האוויר שבו אנו משתמשים הינו לחץ אוויר סטנדרטי הנמצא כחלק בלתי נפרד מכל פינת מלאכה, אך יש להקפיד שהאוויר בלחץ יעבור דרך פילטר שאינו נותן לחלקים מעל מיקרון לעבור דרכו. הקירור באמצעות לחץ אוויר ממלא פונקציות נוספות כגון מניעה של הצטברות חלקיקי אבק על פני המשטחים האופטיים וכן מונע תופעות של Thermal Lensing.