

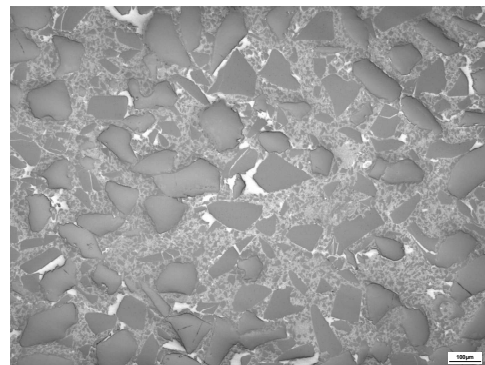
פרופ' נחום פרגה

גופים צפופים העשויים מבורון קרביד וסיליקון קרביד אטרקטיביים לייצור מיגון קל משום השילוב של קושיות גבוהה (2800-3500 Hv), מודול יאנג גבוה (400-450 GPa) וצפיפות נמוכה ($2.52-3.22 \text{ g/cm}^3$) המוביל ליעילות בליסטית גבוהה. בורון קרביד וסיליקון קרביד מאופיינים באחוז גבוה של קשרים קוולנטיים ולכן על מנת לייצר גופים צפופים מחומרים אלה יש להשתמש בטכנולוגיה של מטלורגיית אבקות הכוללת תהליכי סינטור חופשי וכבישה חמה בטמפרטורות גבוהות ($\sim 2100^\circ\text{C}$). תהליך חלופי לייצור גופים צפופים מחומרים אלה הוא החיבור הראקטיבי "Reaction Bonded". בתהליך זה, גוף נקבובי, המורכב מחלקיקי החומר הקראמי ופחמן, מוספג בסיליקון מותך. הפחמן מגיב עם הסיליקון המותך ליצירת סיליקון קרביד שניוני כך, שבסוף התהליך מתקבל גוף צפוף המורכב משלד רציף של חומר הבסיס הקראמי וסיליקון קרביד שניוני, אשר חלליו מלאים בסיליקון שיורי אשר לא הגיב עם הפחמן. היתרון העיקרי של תהליך זה על פני תהליכי ציפוף אחרים, כגון סינטור וכבישה חמה, הינו הטמפרטורה הנמוכה יחסית ($\sim 1500^\circ\text{C}$). חסרונותיו של התהליך הם הסיליקון השיורי המוריד את התכונות המכאניות של הגוף הסופי וגזים רעילים המשתחררים במהלך התהליך. הקבוצה בראשות פרופ' נחום פרגה חוקרת את תהליך החיבור הראקטיבי של בורון קרביד וסיליקון קרביד בעשור האחרון והיא אחת הקבוצות המובילות בעולם בתחום זה.

נושאי המחקר של הקבוצה בתחום זה הם חקירת מנגנון התגובה בין הבורון קרביד לבין הסיליקון המותך בתהליך החיבור הראקטיבי, חקירת מנגנוני הנוקליאציה וגידול של הפאזות השונות שנוצרות בתהליך ההספגה, שיפור התכונות המכאניות של הגוף הסופי על ידי הקטנת כמות הסיליקון השיורי, פיתוח תהליכי ייצור ידידותיים לסביבה על ידי שינוי מקור הפחמן לתהליך החיבור הראקטיבי, הורדת טמפרטורת התהליך בעזרת סגסוג מתאים של הסיליקון ושילוב של סיבים לחיזוק החומר.



פלטות של סיליקון קרביד מחובר ראקטיבית לצורך ביצוע בדיקת ירי.



מיקרו מבנה אופייני לביליקון קרביד מחובר ראקטיבית.

המחקר כולל ייצור גופים צפופים של סיליקון קרביד ובורון קרביד על ידי שימוש במטלורגיית אבקות ותהליכי הספגה של הגוף הירוק במתכת נוזלית. לאחר מכן נעשה אפיון של הגוף הסופי הכולל חקירת המיקרו מבנה בעזרת מיקרוסקופ אופטי ומיקרוסקופית אלקטרוניים SEM ו-TEM, חקירת התכונות הפיזיקאליות והמכאניות של החומר (מודול יאנג, מיקרו-קושיות, חוזק לכפיפה, צפיפות וכיו) והיעילות הבליסטית של הגופים הסופיים.

בשנים האחרונות עלה הצורך בתעשיות הביטחוניות לחומרים המשמשים למיגון בעלי עמידות בליסטית גבוהה וכן לחומרים בעלי שקיפות אופטית, הן בתחום הנראה והן בתחום האינפרא-אדום הקרוב.

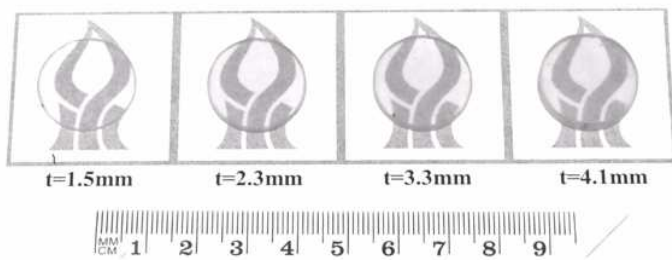
בין החומרים העונים לדרישות אלו נמצאים מספר חומרים קרמיים גבישיים, והמובילים ביניהם: תחמוצת אלומיניום (אלומינה) חד גבישית (Sapphire), אלומיניום אוקסי-ניטריד (ALON) ומגנזיום-אלומיניום ספינל ($MgAl_2O_4$).

מגנזיום-אלומיניום ספינל בעל יתרונות רבים כמו סינתזה פשוטה של החומר, תכונות מכאניות גבוהות ושקיפות בתחום נרחב של $0.2-6\mu m$.

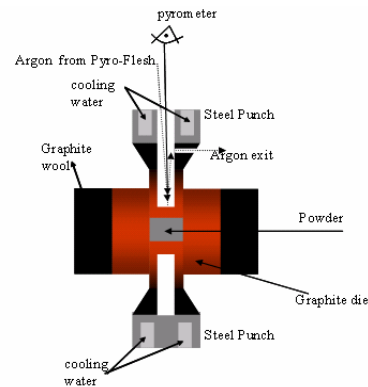
חומר קרמי שקוף נוסף אשר מעורר התעניינות רבה לצרכים ביטחוניים בתחום הלייזר הוא YAG (Yttria-Alumina Garnet).

ייצור קרמיקה שקופה בכלל, וספינל ו YAG בפרט, נעשה בטכנולוגיה של מטלורגיית אבקות הכוללת תהליכי סנטור וכבישה חמה בטמפרטורות גבוהות (Hot pressing). עלות הייצור בשיטה זו גבוהה מאוד ועל כן נעשה שימוש בשיטת ייצור נוספת והיא SPS- Spark Plasma Sintering. שיטת ה SPS מבוססת על חימום האבקה לטמפרטורה גבוהה ע"י זרם גבוה העובר דרכה תוך כדי הפעלת לחץ חד צירי (איור 1).

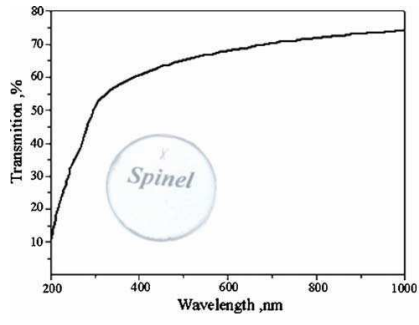
נושאי המחקר של הקבוצה בתחום זה מתחלקים לשניים: במישור הראשון, ייצור אבקה של קרמיקה בשיטות שונות תוך שימת דגש על ייצור יעיל, פשוט וזול המקנה אבקה ברמה גבוהה, ובמישור השני מציאת תהליך אופטימאלי בטכנולוגיית SPS לסנטור קרמיקה שקופה (הן מאבקה מסחרית והן מאבקה שהוכנה במעבדה).



איור 2: דגמי ספינל שקופים בעוביים שונים



איור 1: תרשים סכמאטי SPS



איור 3: גרף המתאר שקיפות כנגד אורך גל עבור ספינל בעובי 2.7 מ"מ.