

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مواد - سرامیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد - سرامیک

سنتز نانو پودر دی بورید تیتانیم توسط فرایند احیای منیزو ترمی

اساتید راهنما

دکتر سعید باغشاهی و دکتر بهمن میرهادی

استاد مشاور

دکتر آرمان صدقی

نگارنده

سامان نعمت

اسفند ۱۳۹۰

سپاس مخصوص خدا را که این پایان نامه با راهنمایی‌ها، کمک‌ها، همکاری و همیاری اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر باغشاهی، جناب آقای دکتر صدقی و جناب آقای دکتر میرهادی و سایر اساتید محترم با راهنمایی‌ها و ارشادهای سازنده، همچنین پدر و مادر عزیزم سلیمان نعمت و زهرا میروزیری که در تمام شرایط با حمایت‌های بی‌دریغشان دلگرمی برای ادامه راه بودند و دوستان گرامی به پایان رسید.

این پایان نامه تقدیم به پدر و مادر بزرگوارم که تا به امروز بهترین شرایط را برای تحصیل فراهم کردند. پدر و مادری که از جان خود، از تمامی امکانات، حتی بیشتر از توانشان در حق من کوشیده‌اند. باشد که بتوانم با احترام و تقدیر از این دو بزرگوار، سلیمان و زهرا قدر ناچیزی از سنگینی این فداکاری را جبران نمایم.

چکیده :

دی‌بورید تیتانیم با ساختار هگزاگونال به دلیل سختی و مدول الاستیک بالا، مقاومت به سایش خوب و هدایت بالای حرارتی و الکتریکی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. پتانسیل بالای کاربردی را برای مواد ساختاری در دمای بالا، ابزار برش، ذره‌ها، الکترودها در ذوب فلزات و پوشش قطعات به وجود آورده است.

در این تحقیق، نانو پودر دی‌بورید تیتانیم با استفاده از روش احیایی منیزیوترمی در دماهای 750°C ، 850°C و 950°C داخل کوره تیوبی با اتمسفر آرگون و با مقادیر ۱۰ - ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی از افزودنی نمک کلرید پتاسیم تولید شد که از منیزیم به عنوان عامل احیاکننده‌ی اکسید تیتانیم و اکسیدبور استفاده شد. نمک کلرید پتاسیم برای جلوگیری از رشد دانه‌ها و کلوخه شدن، به عنوان افزودنی به کار رفت. این روش موسوم به سنتز احتراق حجمی یا انفجار گرمایی است.

پس از بررسی ریزساختار توسط پراش اشعه ایکس و با استفاده از رابطه شرر مشخص شد که فاز دی‌بورید تیتانیم سنتز شده و به ابعاد 277 نانومتر برای 950°C و 10% درصد وزنی کلرید پتاسیم و 23 نانومتر برای 750°C در 20% درصد وزنی افزودنی کلرید پتاسیم رسیده است. همچنین مشخص شد که با افزایش دما از 750°C به 950°C واکنش کامل‌تر انجام شده است. با افزایش درصد افزودنی از 10% به 30% درصد، کاهش پودر تولیدی و ریزتر شدن دانه‌ها مشاهده شد. سنتز TiB_2 در دمای 750°C با 30% درصد وزنی افزودنی کلرید پتاسیم انجام نشد. بهترین نتیجه به دست آمده در دمای 950°C و 10% درصد کلرید پتاسیم است که میزان دی‌بورید تیتانیم تولیدی $65/56\%$ درصد است.

کلید واژه : نانو پودر، دی‌بورید تیتانیم، کلرید پتاسیم، احتراق حجمی، منیزیوترمی

- ۱-۱-۵-۱- سنتز احتراقی دما بالای خود پیشبرنده کلاسیک..... ۲۳
- ۱-۱-۵-۲- سنتز احتراقی دما بالای خود پیشبرنده فعال شده با میدان..... ۲۵
- ۱-۱-۵-۳- سنتز احتراقی دما بالای خود پیشبرنده فعال شده مکانیکی..... ۲۶
- ۱-۱-۵-۴- سنتز احتراقی دما بالای خود پیشبرنده از طریق نفوذ فاز گازی..... ۳۰
- ۱-۱-۵-۵- سنتز احتراقی دما بالای خود پیشبرنده برای تولید کامپوزیت..... ۳۰
- ۱-۵-۲- سنتز احتراقی به روش احتراق حجمی یا انفجار گرمایی..... ۳۲
- ۱-۶-۶- فرآیند سنتز در فاز گازی..... ۳۳
- ۱-۶-۱- سنتز بوریدها با استفاده از ترکیبات هالیدی..... ۳۴
- ۱-۷-۷- سنتز در فاز محلول..... ۳۵
- ۱-۷-۱- فرآیند سل - ژل..... ۳۵
- ۱-۷-۲- فرآیند سالوترمال..... ۳۸
- فصل دوم : فعالیت‌های تجربی..... ۴۰**
- ۱-۲-۱- مواد اولیه..... ۴۱
- ۲-۲-۲- روند آزمایش‌ها..... ۴۱
- ۲-۲-۱- آماده‌سازی مواد اولیه..... ۴۱
- ۲-۲-۲- روند سنتز پودر..... ۴۲
- ۳-۲- آنالیز..... ۴۴

۴۴	.....۱-۳-۲- آنالیز حرارتی
۴۴	.....۲-۳-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی
۴۵	.....۳-۳-۲- پراش اشعه ایکس
۴۶	..... فصل سوم : نتایج و بحث
۴۷	.....۱-۳- آنالیز حرارتی
۴۷	.....۱-۱-۳- آنالیز توزین حرارتی
۴۹	.....۲-۳- فازها و اندازه گیری میزان پودر تولید شده
۶۰	.....۲-۴- ریز ساختار و مورفولوژی
۱۷	.....۳-۴- محاسبه اندازه دانه توسط رابطه شرر
۷۳	..... فصل چهارم : خلاصه و نتیجه گیری
۷۴	.....۱-۴- نتایج
۷۵	.....۲-۴- پیشنهادها
۷۶	..... مراجع

فهرست جداول :

- جدول ۱-۲- خواص فیزیکی ترکیب TiB_2 ، ZrB_2 و HfB_2 ۱۰
- جدول ۱-۲- مشخصات پودرهای استفاده شده برای سنتز TiB_2 ۴۱
- جدول ۱-۳- اثر درصد افزودنی بر میزان پودر تولیدی در 750°C ۴۹
- جدول ۲-۳- اثر درصد افزودنی کلرید پتاسیم بر میزان پودر تولیدی در 850°C ۵۳
- جدول ۳-۳- اثر درصد افزودنی بر میزان پودر تولیدی در 950°C ۵۵
- جدول ۳-۴- اثر دما بر میزان پودر تولیدی در ۱۰ درصد وزنی افزودنی ۵۷
- جدول ۳-۵- اثر دما بر میزان پودر تولیدی در ۲۰ درصد وزنی افزودنی ۵۷
- جدول ۳-۶- اثر دما بر میزان پودر تولیدی در ۳۰ درصد وزنی کلرید پتاسیم ۵۹
- جدول ۴-۱- محاسبه اندازه بلورکها در دمای 950°C ۷۱
- جدول ۴-۲- محاسبه اندازه بلورکها در دمای 850°C ۷۱
- جدول ۴-۳- محاسبه اندازه بلورکها در دمای 750°C ۷۱

فهرست شکل ها :

- شکل ۱-۳- تغییرات انرژی آزاد چند ترکیب بوریدی بر حسب دما ۱۲
- شکل ۱-۴- XRD محصولات به دست آمده از فرآیند احیای کربوترمال با گرمایش و سرمایش سریع در دمای 1500°C در زمان های متفاوت ۱۴
- شکل ۲-۴- الگوی XRD محصولات واکنش نمونه دارای ۱ مول TiO_2 ۱۵
- شکل ۳-۴- الگوی XRD محصولات واکنش نمونه دارای ۰/۵ مول TiO_2 ۱۵
- شکل ۴-۴- الگوی XRD محصولات واکنش نمونه دارای ۰/۲۵ مول TiO_2 ۱۵
- شکل ۵-۴- تغییرات انرژی آزاد سنتز بوریدهای فلزات انتقالی به روش احیای کربوترمال اکسیدهای آن ها. ۱۶
- شکل ۶-۴- الگوی پراش نمونه ای که در دمای 400°C به مدت ۶۰ دقیقه کلسینه شد ۱۷
- شکل ۷-۴- اثر زمان بر غلظت فازهای کریستالی تولیدی در دمای 1350°C این نمونه در دمای 700°C به مدت ۱۰ دقیقه کلسینه شده است ۱۷
- شکل ۸-۴- اثر دمای راکتور بر ترکیب محصول نهایی (این نمونه در دمای 400°C به مدت ۶۰ دقیقه کلسینه شده است) ۱۸
- شکل ۱-۵- الگوی XRD محصولات واکنش سنتز قبل از شستن آن ها توسط آب و لیچینگ با محلول اسید کلریدریک ۲۳
- شکل ۲-۵- الگوی XRD محصولات واکنش سنتز، پس از انجام عملیات شست و شو با آب و لیچینگ با اسید کلریدریک ۲۴
- شکل ۳-۵- تاثیر غلظت NaCl بر اندازه ذرات نهایی TiB_2 ۲۴

- شکل ۴-۵- شماتیکی از فرآیند سنتز خودپیش‌رونده دما بالا فعال شده با میدان..... ۲۵
- شکل ۵-۵- الگوی پراش مواد اولیه و محصولات با زمان‌های آسیاب‌کاری گوناگون ۲۶
- شکل ۶-۵- الگوی پراش مواد اولیه و محصولات: از بالا، الگوی اول مربوط به قبل از فرآیند، الگوی دوم مربوط به پس از آسیاب‌کاری و الگوی سوم پس از لیچینگ در اسید استیک است..... ۲۷
- شکل ۷-۵- اثر دمای پیش‌گرم بر سرعت موج احتراق در نمونه‌ی دارای ماکزیمم چگالی تئوری ۴۵ و ۵۵٪ (TMD) ۲۹
- شکل ۸-۵- نمودار انرژی آزاد بر حسب زمان برای سه ترکیب TiB_2 ، TiB و $TiCu$ ۳۰
- شکل ۹-۵- الگوی XRD کامپوزیت $Cu-TiB_2$ ۳۱
- شکل ۱-۷- الگوی پراش نمونه‌های سری اول در دماهای مختلف با نسبت استوکیومتری (۱:۵) ۳۶
- شکل ۲-۷- الگوی پراش نمونه‌های سری اول با نسبت‌های مختلف کربن در دمای $1300^\circ C$ ۳۶
- شکل ۳-۷- الگوی پراش نمونه‌های سری دوم با نسبت‌های مختلف B_2O_3 در دمای $1300^\circ C$ ۳۷
- شکل ۴-۷- الگوی پراش نمونه‌های سری دوم در دماهای مختلف با نسبت استوکیومتری ۱:۱۵:۵ ۳۸
- شکل ۵-۷- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس محصولات فرآیند سالوترمال..... ۳۹
- نمودار ۳-۱ - اثر درصد افزودنی کلرید پتاسیم بر میزان پودر تولیدی در $750^\circ C$ ۴۹
- نمودار ۳-۲- پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده در $750^\circ C$ با ۱۰٪ ورنی KCl و شستشو با HCl ۴ مول بر لیتر..... ۴۹

نمودار ۳-۳- پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده در 750°C با ۳۰٪ وزنی KCl شستشو با آب مقطر..... ۵۱

شکل ۳-۱- TiO_2 (روتیل) واکنش نکرده در دمای 750°C با ۳۰٪ وزنی افزودنی KCl، آبشویی شده..... ۵۲

شکل ۳-۲- TiO_2 واکنش نکرده در دمای 750°C با ۳۰٪ وزنی افزودنی KCl..... ۵۳

نمودار ۳-۴- اثر درصد افزودنی کلرید پتاسیم بر میزان پودر تولیدی در 850°C ۵۴

نمودار ۳-۵- پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده در 850°C با ۱۰٪ وزنی KCl و شستشو با ۴ مول

بر لیتر..... ۵۴

نمودار ۳-۶- اثر درصد افزودنی کلرید پتاسیم بر میزان پودر تولیدی در 950°C ۵۶

نمودار ۳-۷- پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده در 950°C با ۱۰٪ وزنی KCl و شستشو با ۴ مول

بر لیتر..... ۵۶

نمودار ۳-۸- اثر دما بر میزان پودر تولیدی در ۱۰ درصد وزنی افزودنی کلرید پتاسیم..... ۵۸

نمودار ۳-۹- اثر دما بر میزان پودر تولیدی در ۲۰ درصد وزنی افزودنی کلرید پتاسیم..... ۵۹

شکل ۳-۳- پوشش کلرید پتاسیم بر روی ذرات و جلوگیری از رشد آن‌ها (دما: 950°C - ۳۰٪ وزنی کلرید

پتاسیم)..... ۶۰

شکل ۳-۴- $\text{TiB}_2 + \text{MgO}$ محصول آبشویی پودر سنتز شده (دما: 950°C - ۳۰٪ وزنی کلرید پتاسیم). ۶۱

شکل ۳-۵- $\text{TiB}_2 + \text{MgO}$ محصول آبشویی پودر سنتز شده (دما: 950°C - ۳۰٪ وزنی کلرید پتاسیم). ۶۱

شکل ۳-۶- TiB_2 محصول اسیدشویی پودر آبشویی شده (دما: 950°C - ۳۰٪ وزنی کلرید پتاسیم، غلظت

اسید: ۴ مولار)..... ۶۲

نمودار ۳-۱۰- پراش اشعه ایکس پودر پس از اسیدشویی (دما: 95°C - 30% وزنی کلریدپتاسیم، غلظت اسید: ۴ مولار)..... ۶۲

نمودار ۳-۱۱- پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده در 85°C با 10% وزنی KCl و شستشو با ۴ HCl مول بر لیتر..... ۶۳

نمودار ۳-۱۲- پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده در 85°C با 20% وزنی KCl و شستشو با ۴ HCl مول بر لیتر..... ۶۴

نمودار ۳-۱۳- پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده در 85°C با 30% وزنی KCl و شستشو با ۴ HCl مول بر لیتر..... ۶۴

شکل ۳-۷- دمای 85°C با 30% وزنی کلریدپتاسیم، اسیدشویی با ۴ HCl مولار..... ۶۶

شکل ۳-۸- دمای 85°C با 20% وزنی کلریدپتاسیم، اسیدشویی با ۴ HCl مولار..... ۶۶

شکل ۳-۹- دمای 85°C با 10% وزنی کلریدپتاسیم، اسیدشویی با ۴ HCl مولار..... ۶۶

شکل ۳-۱۰- پودر TiB_2 به دست آمده در دمای 95°C ، 10% وزنی افزودنی KCl و اسید کلریدریک ۴ مولار..... ۶۷

شکل ۳-۱۱- پودر TiB_2 به دست آمده در دمای 95°C ، 20% وزنی افزودنی KCl و اسید کلریدریک ۴ مولار..... ۶۷

شکل ۳-۱۲- سمت راست: TiB_2 تجاری با درجه $30 - \text{HCT}$ ، بزرگ‌نمایی ۱۰ میکرون..... ۶۸

شکل ۳-۱۳- پودر به دست آمده در دمای 75°C ، 20% وزنی افزودنی KCl و اسید کلریدریک ۴ مولار..... ۶۹

شکل ۳-۱۴- پودر به دست آمده در دمای 75°C ، 10% وزنی افزودنی KCl و اسید کلریدریک ۴ مولار..... ۷۰

شکل ۳-۱۵- مقایسه اندازه‌دانه در دما و درصد افزودنی مختلف..... ۷۱

مقدمه

مواد سرامیکی در صنعت کاربردهای زیادی دارند. این مواد به طور کلی به دو دسته‌ی سرامیک‌های اکسیدی و سرامیک‌های غیراکسیدی تقسیم‌بندی می‌شوند. سرامیک‌های غیراکسیدی خود به پنج دسته‌ی کاربیدها، نیتريد‌ها، بوریدها، سولفیدها و سیلیسیدها تقسیم‌بندی می‌شوند. هر کدام از این گروه‌ها به دلیل ماهیت شیمیایی خود، دارای کاربردهای خاصی هستند. از میان مواد پیشرفته جدید، سرامیک‌های غیراکسیدی مورد توجه خاصی بوده و با سرعت بیش‌تری رشد پیدا کرده‌اند، زیرا این مواد دارای خواص بسیار مطلوبی در دماهای بالا بوده و همچنین خواص و ساختار ترکیبات قبلی را نیز بهبود می‌بخشند.

بوریدها از جمله ترکیبات بسیار مهم و کاربردی سرامیک‌های غیراکسیدی هستند که به صورت طبیعی وجود ندارند و سنتز آن‌ها از این جهت از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است که دارای نقطه ذوب بالا، هدایت حرارتی و الکتریکی خوب، مقاومت در برابر شوک‌های حرارتی، سختی بالا و خنثایی شیمیایی هستند. سنتز این پودر با استفاده از روش‌های معمولی با سدهای بزرگی همچون نیاز به دماهای بالا، زمان‌های طولانی روبه‌رو است که روش‌های جدید که در پایین اشاره شده راه‌کاری برای سنتز این بورید اشاره شده است که در این بین سنتز احتراقی به دلیل هزینه پایین آن و عدم نیاز و دستگاه‌های پیچیده و پیشرفته انتخاب شده است.

دی‌بورید فلزات انتقالی از جمله تیتانیم، زیرکونیم و هافنیم به علت نقطه ذوب بسیار بالای خود، سرامیک‌های فوق دما بالا¹ (UHTCs) نام گرفته‌اند. بنابراین دی‌بورید فلزات انتقالی برای کاربرد در دماهای بالا، جریان‌های حرارتی بالا و تنش‌های سطحی شدید هستند، استفاده می‌شوند.

به طور کلی، روش‌های سنتز بوریدها به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

¹ - Ultra High Temperature Ceramics (UHTCs)

۱- فرآیند احیای کربوترمال

۲- فرآیند سنتز احتراقی

۳- فرآیند سنتز گازی

۴- سنتز از فاز محلول

سنتز پودردی‌بوریدتیتانیم از اکسیدتیتانیم و اکسیدبور توسط احیاکننده‌هایی همچون آلومینیوم، کلسیم، سیلیسیم و منیزیم در دماهای زیر 1000°C به دلیل قدرت اکسیژن‌زدایی بالای آن‌ها امکان‌پذیر است.

از این بین، برای تهیه پودر TiB_2 ، منیزیم مناسب‌ترین گزینه است. زیرا اکسیدمنیزیم تولید شده به راحتی با اسیدکلریدریک رقیق شسته شده و پودر دی‌بوریدتیتانیم حاصل می‌شود. از دو فلز دیگر کمتر استفاده می‌شود زیرا جدایش اکسیدآلومینیوم و اکسیدسیلیسیم تولید شده بسیار مشکل است و سنتز با پودر آلومینیوم بیشتر در ساخت کامپوزیت‌های $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiB}_2$ استفاده می‌شود و فلز کلسیم قیمت نسبتاً بالایی دارد.

بیشتر روش‌های کار شده، به روش سنتز دما بالای خودپیشبرنده توسط افزودنی کلریدسدیم است.

در این پروژه، با استفاده از پودرمنیزیم به عنوان احیاکننده و نمک کلریدپتاسیم با استفاده از کوره تیوبی به عنوان منبع حرارتی، این پودر سنتز شد که این روش موسوم به احتراق حجمی (انفجار گرمایی) است.

فصل اول

مروری بر منابع مطالعاتی

۱-۱ - سرامیک‌های اکسیدی

اکسیدها نقش اساسی در بسیاری از زمینه‌های شیمی، فیزیک و علم مواد دارند. این دسته از مواد در ساخت ابزارهای مدارهای میکروالکترونیک، حس‌گرها، پیزوالکتریک، سلول‌های سوختی، پوشش برای غیر فعال کردن سطح برای جلوگیری از خوردگی و به عنوان کاتالیست استفاده می‌شوند. به عنوان مثال، تقریباً تمام کاتالیست‌های مورد استفاده در صنایع، یک ترکیب اکسیدی به عنوان فاز فعال و یا کمک کاتالیست در بر می‌گیرند. به علاوه، در بیشتر قطعات کامپیوترها از ترکیبات اکسیدی استفاده می‌شود [۱].

۱-۱-۱ - دی‌اکسید تیتانیم (TiO_2)

از میان چندین اکسید موجود در سیستم تیتانیم - اکسیژن، دی‌اکسید تیتانیم پایدارتر از بقیه است. این ماده در طبیعت به شکل‌های روتیل، بروکیت و آناتاز یافت می‌شود. برای اهداف صنعتی این ماده از ماده معدنی ایلمنیت (FeTiO_3) تولید می‌شود. ایلمنیت پس از شستشو با اسیدسولفوریک و رسوب هیدروکسید از محلول و خشک کردن آن، به دی‌اکسید تیتانیم تبدیل می‌شود. سرباره‌های غنی از تیتانیم یکی دیگر از منابع خام دی‌اکسید تیتانیم است. [۱].

از کاربردهای تجاری TiO_2 می‌توان به استفاده آن به عنوان رنگدانه سفید اشاره کرد. همچنین در تکنولوژی ساخت سیلیکات‌ها و در لعاب‌های پایه TiO_2 از این ماده استفاده می‌شود. برای کاربرد در این موارد، اندازه دانه و ساختار کریستالی TiO_2 بسیار مهم است و نیاز به عملیات حرارتی دارد. پس نباید هیچ‌گونه آلودگی در آن وجود داشته باشد.

۱-۱-۲ - تری‌اکسید بور (B_2O_3)

این ماده در ساخت برخی از شیشه‌ها و لعاب‌ها بسیار قابل توجه است. این ماده به ندرت در شکل اکسید به مواد خام اضافه می‌شود. این ماده به طور طبیعی بی‌رنگ، شفاف و جاذب رطوبت است. H_2BO_3 با از دست دادن آب در دمای بین 270°C - 266°C و فشار 260 MPa - 130 به B_2O_3 تبدیل می‌شود. پس با

ذوب آن مقدار آب باقی مانده کم می‌شود. α - B_2O_3 (هگزاگونال) با چگالی $2/46 \text{ gr/cm}^3$ ، با حرارت دادن اسید بوریک در دمای بین $225 - 250^\circ\text{C}$ به مدت چند روز، به دست می‌آید. β - B_2O_3 از حرارت دادن شکل طبیعی B_2O_3 در دمای 600°C و فشار 4000 MPa حاصل می‌شود. برای کاربردهای صنعتی، منابع B_2O_3 ، اسید بوریک و بوراکس هستند [۱].

۱ - ۲- سرامیک‌های غیراکسیدی

پیشرفت سرامیک‌های غیر اکسیدی، به دلیل تقاضای دستیابی به دماهای بالا و ترکیب غیر معمول خواص بوده است. این گروه به دلیل طبیعت شیمیایی ذاتی، با سرامیک‌های اکسیدی تفاوت دارند. در ترکیبات اکسیدی، پیوندها از نوع یونی بوده و در ساختار شبکه‌ای آن‌ها یون‌های بزرگ اکسیژن حضور دارند و کاتیون‌ها در حفره‌های بین آن‌ها قرار دارند. ولی در ترکیبات سرامیکی غیراکسیدی (کاربیدها، نیتrideها و بوریدها) پیوندها از نوع کووالانسی (B_2C ، SiC ، B_4C ، Si_3N_4 و BN) یا کووالانسی - فلزی (TiC ، UC ، TiN ، TaC ، WC) هستند. سرامیک‌های اکسیدی مقاومت الکتریکی نسبتاً بالایی دارند و به عنوان نیمه‌هادی استفاده می‌شوند. سرامیک‌های غیراکسیدی خواصی شبیه به فلزات دارند. ساختار شبکه‌ای فلزی دارند و بقیه عناصر با شعاع اتمی کوچک‌تر حفره‌ها را اشغال کرده‌اند. گاهی اوقات این ترکیبات، ترکیبات درون شبکه‌ای^۱ نام برده می‌شوند و به صورت غیراستوکیومتری ترکیب می‌شوند.

این مواد باید در اتمسفر غیراکسیدی در دماهای بسیار بالا زینتر شوند. ترکیباتی که دارای پیوند کووالانسی هستند به خوبی زینتر نمی‌شوند و به عنوان مثال، باید از روش‌های پرس‌گرم و زینترواکنشی استفاده شود. در کاربردهای عملی، باید مقاومت نسبتاً پایین آن‌ها به اکسیداسیون در نظر گرفته شود، بطوریکه استفاده از آن‌ها در دمای بالا باید به شرط این است که محیط خلا، احيایي و يا خنثی شود.

۱-۲-۱ - کاربیدها

کاربیدها دارای بالاترین دمای ذوب در میان مواد شناخته شده هستند. از ویژگی‌های کاربیدها می‌توان به سختی بسیار بالا، هدایت الکتریکی و حرارتی خوب و پایداری بالا به جز در برابر اشاره کرد. تولید کاربیدها به دو بخش تقسیم می‌شود:

۱- آماده‌سازی ترکیبات واقعی (مانند سنتز از عناصر و یا احیای اکسیدها)

۲- شکل‌دهی پودر تولیدی با تکنیک‌های سرامیکی و حرارت دادن آن برای رسیدن به یک ماده چگال.

کاربیدها به میزان کمی به زینتر کردن حساس هستند، به طوری که برای ساخت آن‌ها از پرس گرم، زینتر واکنشی و زینتر توسط مقدار کمی فاز مایع استفاده می‌شود. همچنین با ترسیب بخار به صورت لایه لایه روی مواد و پاشش پلاسما نیز می‌توان کاربید تولید کرد. از کاربیدهای مهم می‌توان به TiC ، SiC ، WC و B_2C اشاره کرد.

کاربیدها به طور کلی به چهار دسته تقسیم می‌شوند [۲]:

۱- کاربیدهای درون شبکه‌ای (کاربید عناصر Ti ، V ، Cr ، Zr ، Mo)

۲- کاربیدهای کووالانسی (SiC و B_2C)

۳- کاربیدهای واسطه (کاربیدهای فلزات انتقالی گروه ۷ و ۸)

۴- کاربیدهای شبه نمکی (کاربیدهای عناصر گروه ۱، ۲ و ۳)

کاربید سیلیسیم یک سرامیک مهندسی پیشرفته است که در صنایع الکتریکی و سرامیکی به دلیل حفظ استحکام در دمای بالا، ضریب انبساط حرارتی و وزن کم استفاده می‌شود. متداول‌ترین روش سنتز کاربید سیلیسیم روش اچسون است که طبق واکنش (۱-۲-۱) در دمای 2000K انجام می‌شود [۳]:

