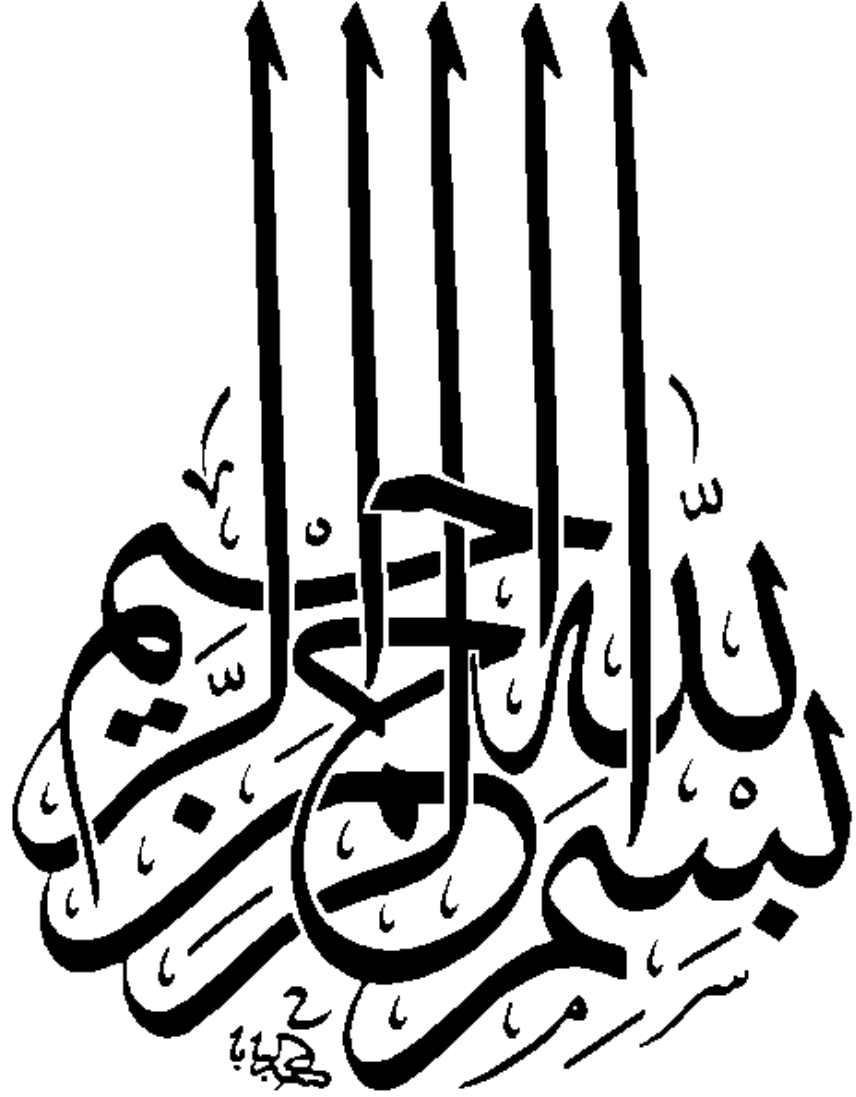






آشکارسازهای SiC

مجری طرح: دکتر محمد نژاد





فهرست

1

معرفی SiC

2

کاربردهای SiC

3

تکنیک های رشد SiC

4

مدلینگ و شبیه سازی

5

چشم انداز آینده



هدف:

دستیابی به فناوری ساخت لایه های SiC

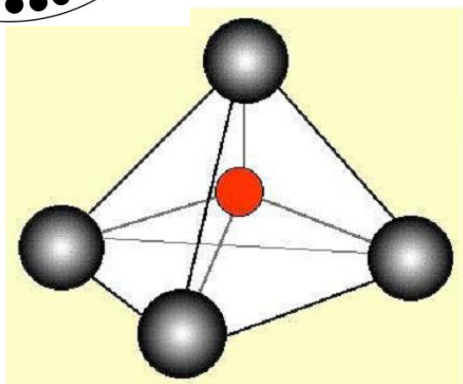
مطالعات اولیه و طراحی و شبیه سازی فرایند

تهیه مواد و تجهیزات

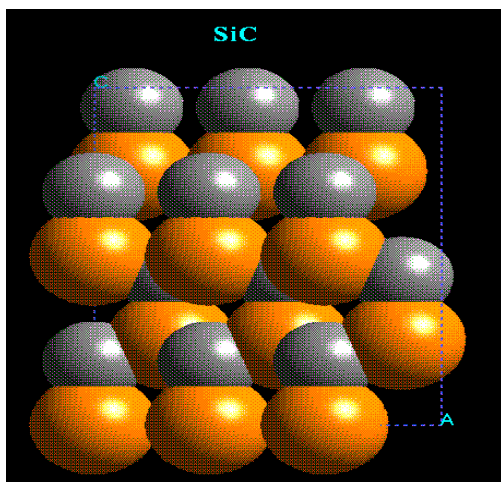
ساخت نمونه اولیه آزمایشگاهی

تست نمونه ساخته شده

بهینه سازی نمونه آزمایشگاهی



❖ **SiC ماده ای با شکاف باند بزرگ و پتانسیل کاملاً شناخته شده ای برای الکترونیک توان بالا و دما بالا می باشد.**



❖ **دارای مشخصات متناسب با نیازهای صنایع دفاعی در الکترونیک فضایی، توان هسته ای و صنایع نظامی قدرت می باشد.**



Silicon Carbide

❖ شکاف باند بزرگ (3.2eV) برای 4-H SiC

■ غلظت ذاتی حامل های بار کمتر

• جریان نشتی کمتر

■ $10^{-8}/\text{cm}^3$ در مقایسه با $10^{10}/\text{cm}^3$ برای Si

■ سرعت رانش الکترون اشباع شده بالا

• سوئیچ سریعتر

❖ ثابت دی الکتریک کوچک (~10)

❖ رسانایی گرمایی بزرگ

❖ تحرک پذیری الکترون بالا

بنابراین

SiC کاندیدای جالبی برای الکترونیک قدرت!



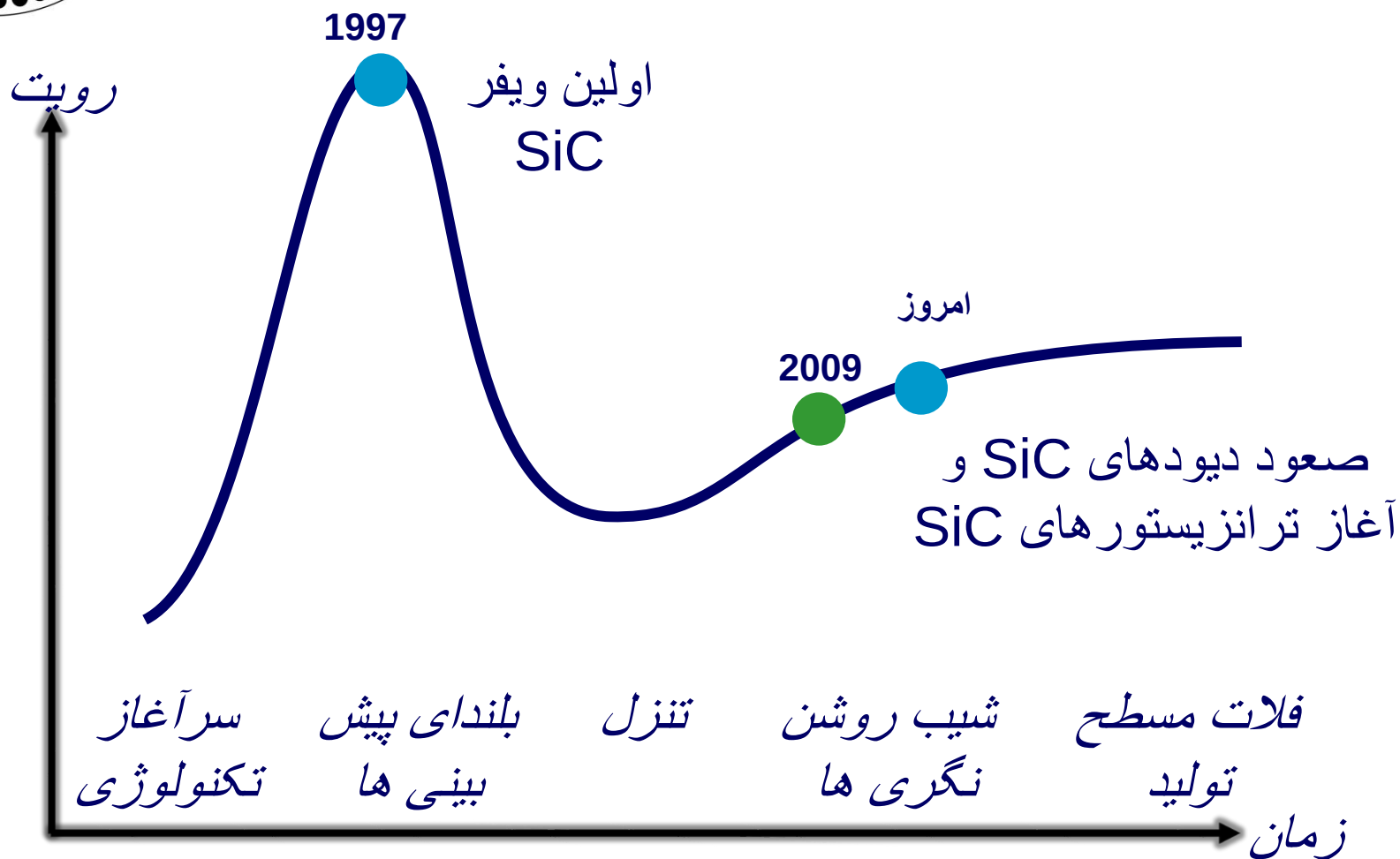
Silicon Carbide

امتیاز قطعات نیمه هادی ساخته شده با SiC :

- ❖ زمان سریع جمع آوری بار
- ❖ جرم کم
- ❖ اندازه کوچک
- ❖ میدان شکست الکتریکی بزرگ
- ❖ شکاف باند بزرگ
- ❖ مقاومت بالا در مقابل تابش ذرات



موقعیت تکنولوژی SiC

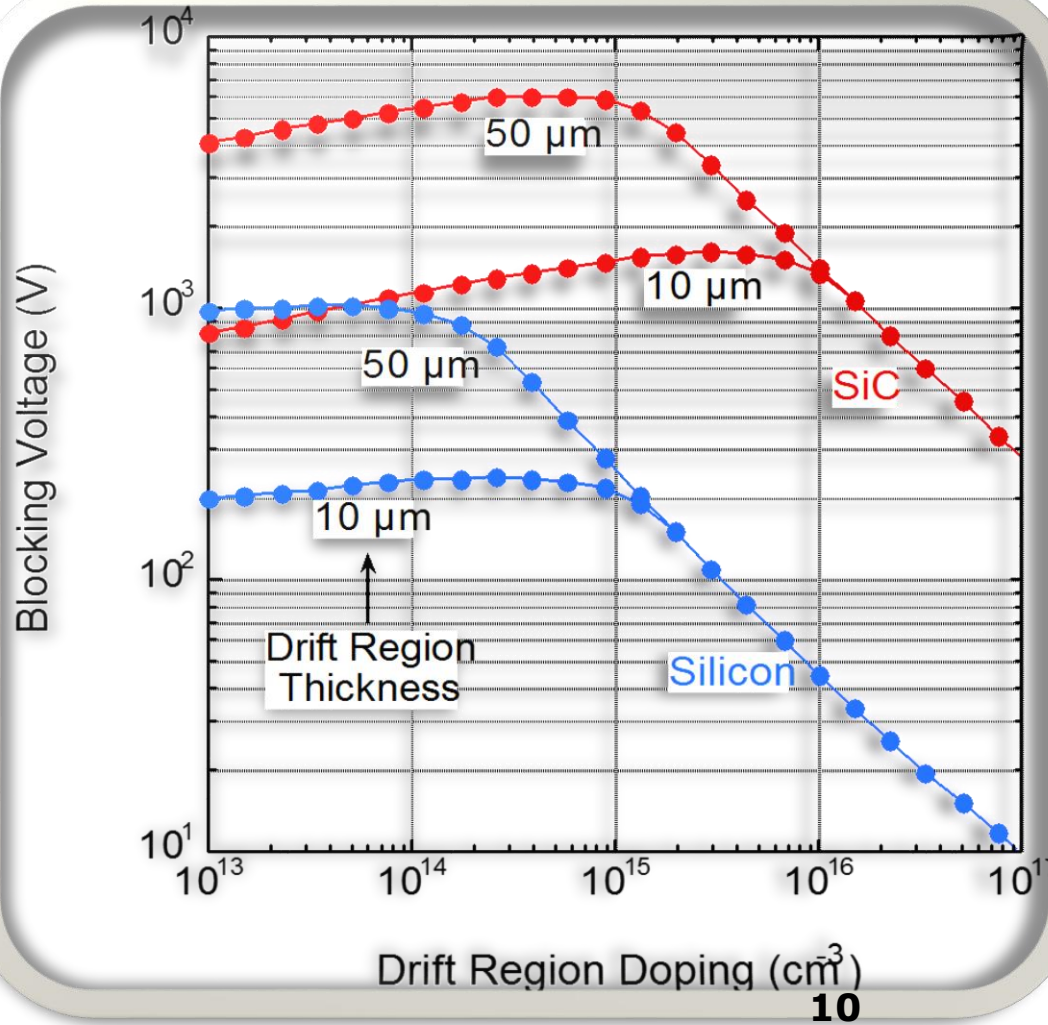




مقایسه نیمه هادی های قدرت

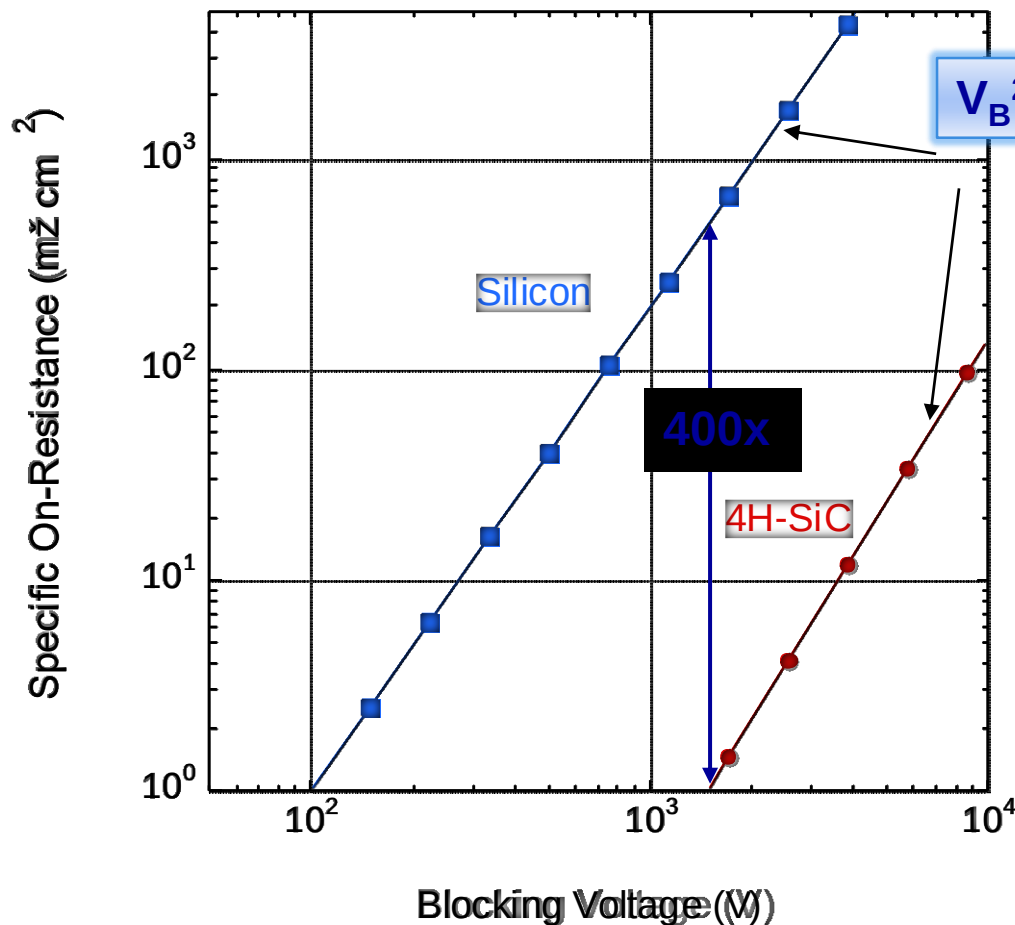
	E_g (eV)	n_i (cm ⁻³)	ϵ_r	μ_n (cm ² /V·s)	E_C (MV/cm)	v_{sat} (10 ⁷ cm/s)
Si	1.12	1.5×10^{10}	11.8	1350	0.3	1.0
GaAs	1.42	1.8×10^6	12.8	8500	0.4	2.0
GaN	3.39	1.9×10^{-10}	9.0	900	3.3	2.5
4H-SiC	3.23	8.2×10^{-9}	9.7	960(//c), 800($\perp$ c)	3.0	2.0
6H-SiC	3.0	2.3×10^{-6}	9.7	400//c, 85($\perp$ c)	3.0	2.0

قدرت میدان الکتریکی SiC



بخاطر باند شکاف پهن تر
 SiC، ولتاژ مسدود کننده
 SiC ۵ تا ۳۰ برابر
 بیشتر از Si در هر سطح
 آلودگی می باشد!

مقاومت ویژه SiC



$$V_B^2 / R_{ON} = \text{constant}$$

• حاصلضرب مقاومت در
 سطح 4H-SiC 400 برابر
 کمتر از سیلیکان در ولتاژ
 مسدود کننده می باشد.

کاربردهای SiC



4H, 6H-SiC substrates

تکنولوژی نیمه هادی ها

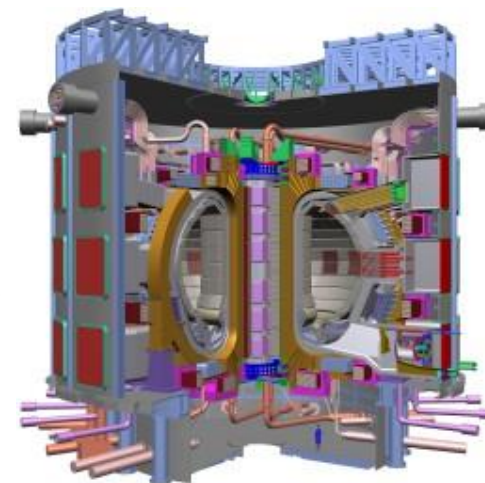


Schottky diodes

SiC

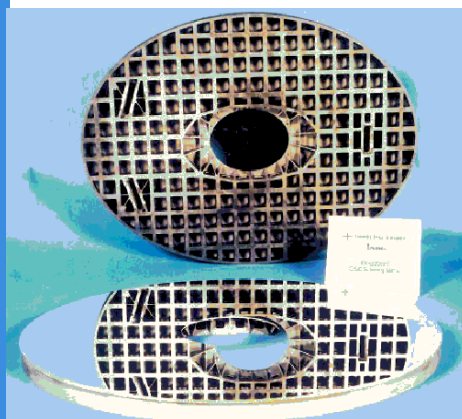
کاربردهای فضایی

انرژی هسته ای



first wall material

و دیگر کاربردها ...



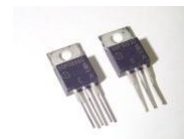
ultra-light weight
mirrors

Schottky
diode

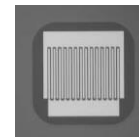


Pin diodes

Thyristors



MOSFET



JFET



MESFET



SiC



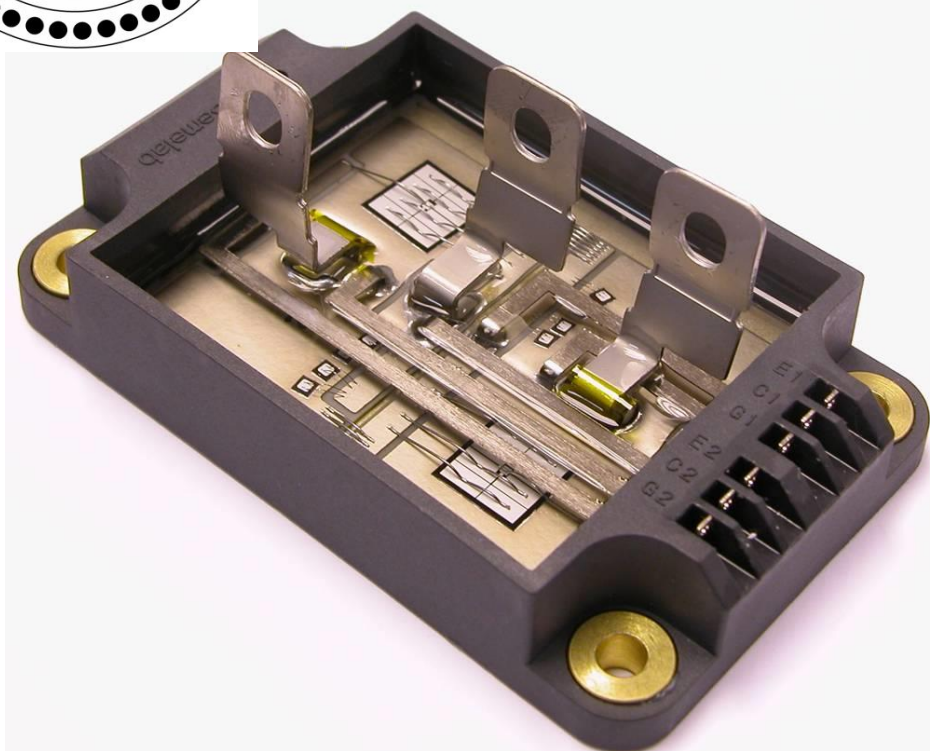
Silicon Carbide

قطعات اتومبیل ساخته شده با SiC
دلیل انتخاب این ماده برای ساخت:
مقاومت گرمایی و پوششی



قطعات زرهی
دلیل انتخاب: ویژگی های بالیستیکی





❖ دستیابی به ویژگی های عملکردی خوب، نیازمند طراحی مجدد کل مدار با SiC می باشد.



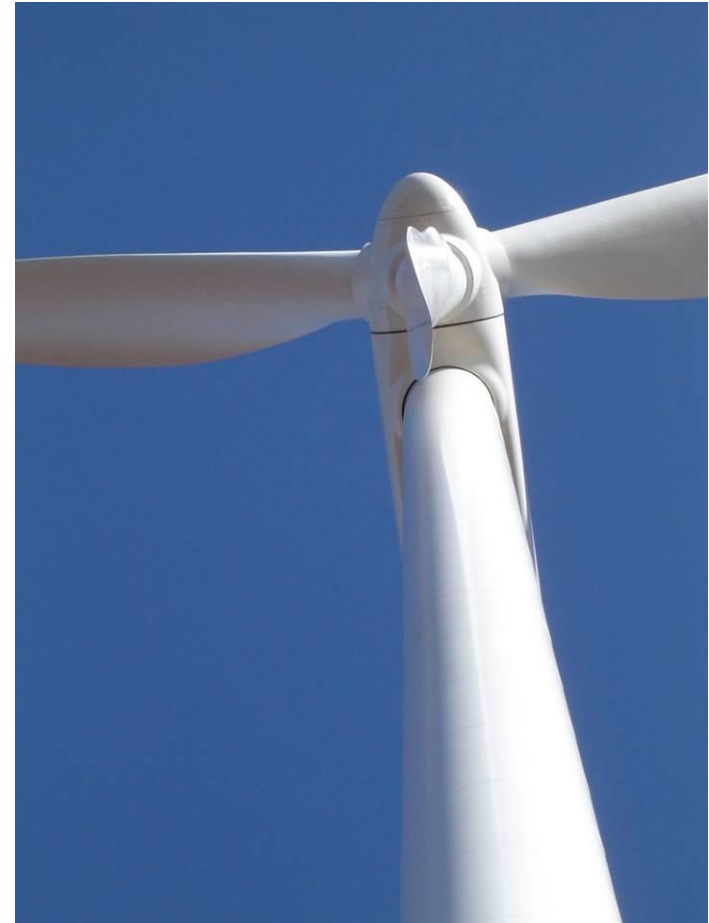
❖ اولین قطعات توانای SiC: دیودهای شاتکی با جریان کم

❖ نیاز شدید چپ های الکتریکی به توان های بالا و اهمیت حجم و وزن سیستم ها استفاده از قطعات SiC را در کاربردهای دریانوردی اجتناب ناپذیر کرده است.

❖ قطعات 10Kv که برای کاربردهای دریایی بکار می روند برای سیستم های توزیع الکتریکی زمینی هم می توانند استفاده شوند.

❖ SiC تکنولوژی است که به سمت منابع انرژی تجدید شدنی حرکت می کند.

❖ SiC عملکرد بهتر با قیمت پایین تر را نسبت به Si فراهم می سازد.



کاربردهای SiC در صنعت خودرو

❖ اندازه و وزن سیستم های توان الکتریکی برای صنعت خودرو بسیار اهمیت دارد و SiC تکنولوژی توانا در این زمینه می باشد.

❖ تویوتا راهبر جهانی در تکنولوژی SiC و تولید کننده مواد خالی از نقوص و فراهم سازنده قطعات با جریان بالا.



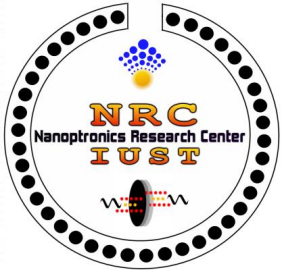
Toyota Prius (Toyota image)



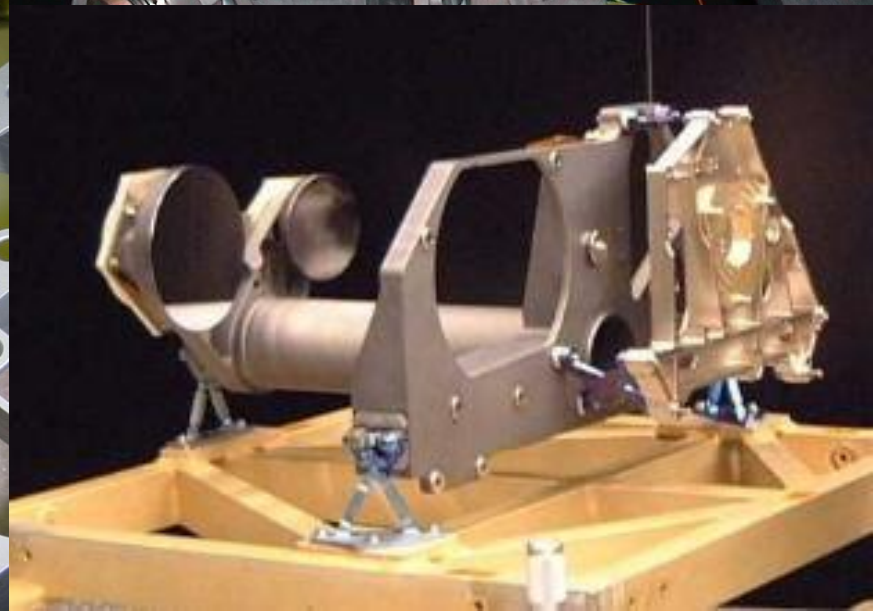
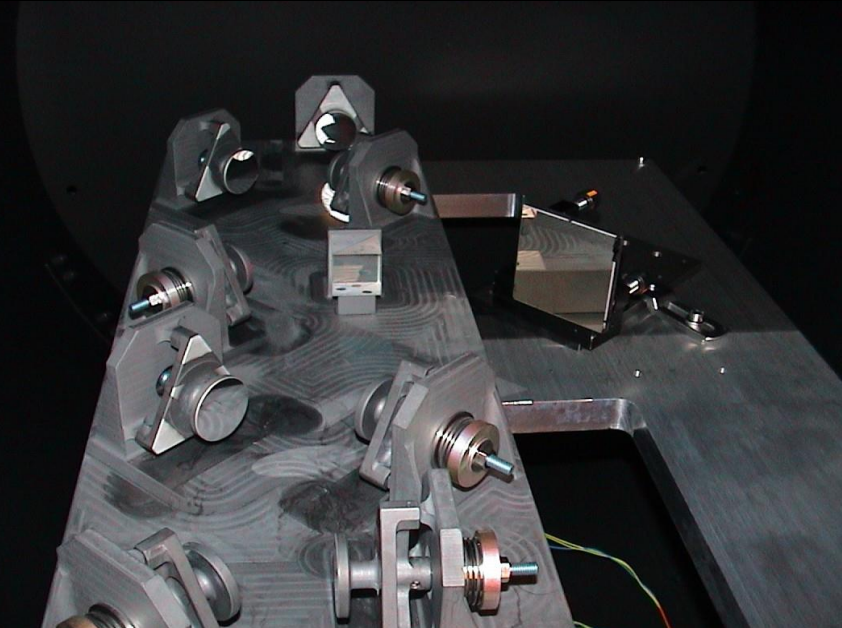
کاربردهای SiC در صنعت خود رو

❖ برخلاف تویوتا، هیچ سازنده اروپایی با توانایی ساخت نیمه هادی ها وجود ندارد و اروپایی ها متکی به سازنده های قطعات برای گسترش تکنولوژی SiC می باشند.





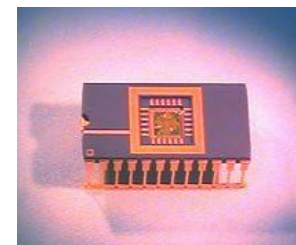
کربید سیلیکان با ویژگی های بسیار خوب برای سیستم های اپتیک
فضایی: استحکام بالا، رسانایی گرمایی بالا و انبساط گرمایی کم



دیگر قطعات ساخته شده با SiC

❖ سنسورهای گازی

- خروج اتوماتیک گازها با استفاده از سنسورها



Gas sensor from Boston Microelectronics

- بیش از ۵ سال است که در دسترس می باشند

❖ سنسورهای UV

- سطح کوچکیشان محدود کننده کاربردهای آنهاست



UV sensor from IFW

❖ سنسورهای تابش



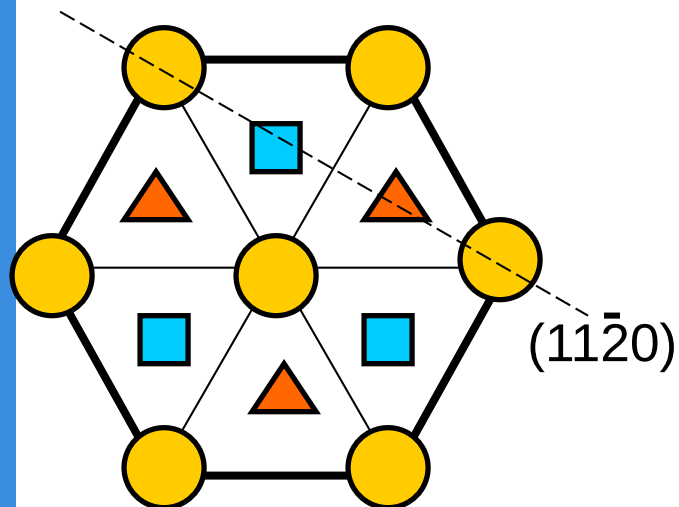
Pressure sensor from Kulite



فازهای کریستالی SiC

- ❖ گونه های کریستالی مختلف SiC توسط یک عدد به همراه یک حرف مشخص می شود بطوریکه: H-Cubic، H-Hexagonal و R-Rhombohedral.
- ❖ عدد تعداد لایه ها در یک توالی تکرار بوده و حرف نشان دهنده نوع ساختار کریستالی می باشد.
- ❖ بیشترین انواع SiC شامل 3C، 2H، 4H و 6H می باشد.

فازهای کریستالی SiC



c-axis

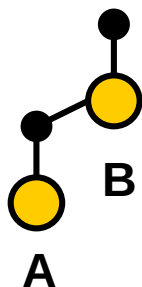
$\langle 0001 \rangle$

$\langle 1\bar{1}00 \rangle$

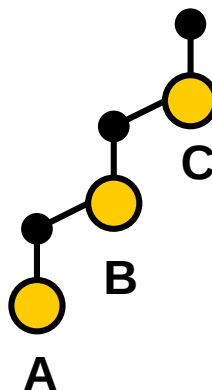
● C atom
● Si atom

● A site
■ B site
▲ C site

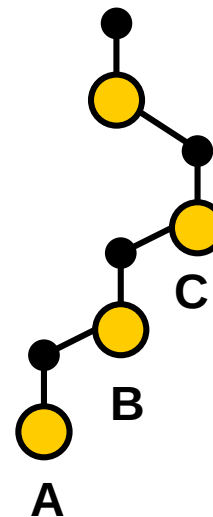
2H-SiC



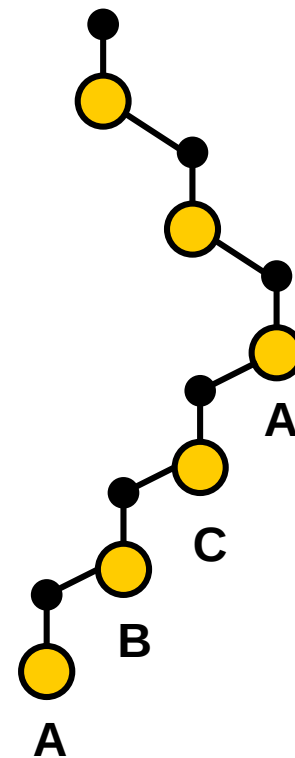
3C-SiC



4H-SiC



6H-SiC





SiC در الکترونیک قدرت

مزایای قطعات قدرت SiC

- افزایش بازدهی سیستم => کاهش مقاومت
- قطعات پسیو کوچکتر => فرکانس بالاتر
- تجهیزات خنک سازی کمتر => دمای بیشتر

بهبود عملکرد سیستم

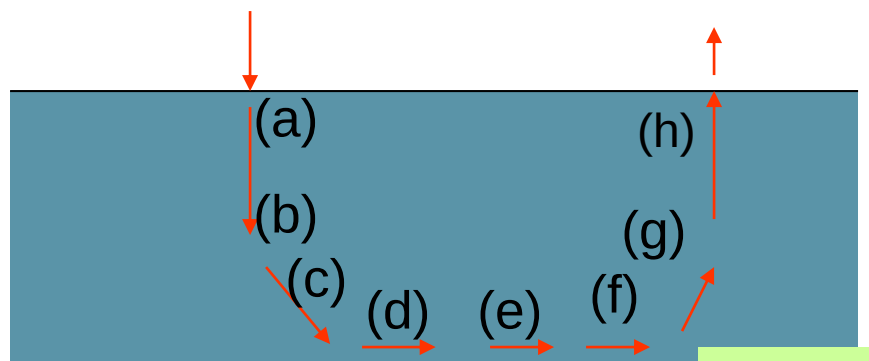
(اندازه، وزن، هزینه، قابل اطمینان، بازدهی)

مراحل رشد در CVD

گازهای واکنش دهنده



گازهای خروجی



سطح

- (a) نفوذ فاز گازی
- (b) برهم کنش فاز گازی
- (c) جذب
- (d) برهم کنش سطحی
- (e) نفوذ سطحی
- (f) داخل شدن به شبکه کریستالی
- (g) واجذبی
- (h) نفوذ فاز گازی



انواع فرایندهای CVD

❖ **APCVD (CVD فشار اتمسفری, ساده CVD) :**

دمای بالا اما در نزدیکی فشار اتمسفر (10^5 Pa)

❖ **LPCVD (CVD در فشار پایین) :**

استفاده از خلا ($< 10 \text{ Pa}$) بمنظور افزایش نرخ لایه نشانی و یکنواختی

❖ **PECVD (CVD با پلاسمای ارتقا یافته) :**

افزایش واکنش ها و اجازه ی لایه نشانی در دماهای خیلی کم



PECVD Reactor

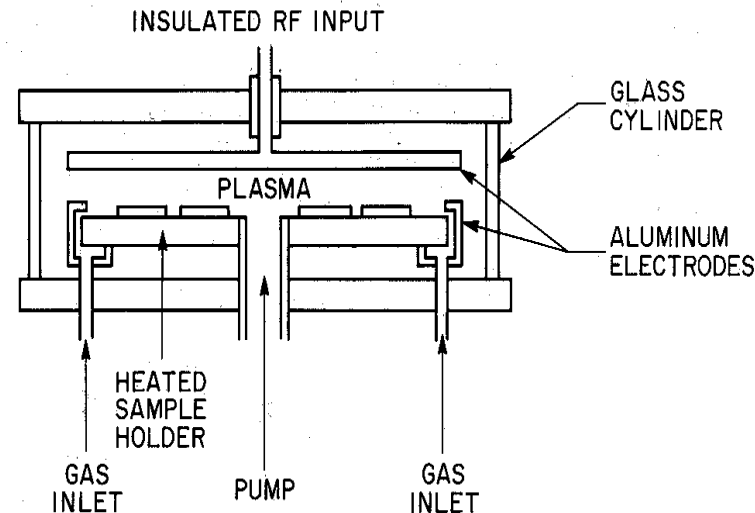
50 kHz ~ 13.56 MHz: توان منبع ➤

0.1~5 torr: خلا ➤

مزایا ➤

❖ دمای لایه نشانی کم

❖ منبع توان پایین



27

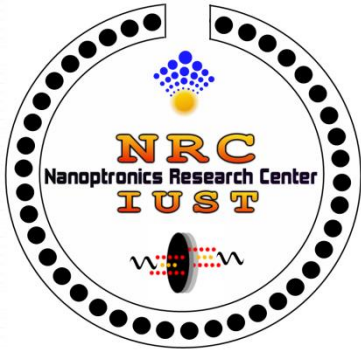
عیوب: ➤

❖ ظرفیت محدود

❖ بارگذاری و یفرها بصورت

مجزا

❖ بسادگی آلوده شدن



چرا PECVD؟

- ❖ سطوح در پلاسما در معرض بمباران یون ها با انرژی های پ تا صدها الکترون ولت می باشند که تاثیر زیادی بر روی ویژگی های فیلم نشانده شده دارد. افزایش بمباران یونی باعث تولید فیلم های فشرده تر می گردد.
- ❖ بنابراین توانایی تنظیم تنش با تغییر شرایط واکنش، هندسه چمبره یا تحریک.
- ❖ حسن مهم آن توانایی تمیز کردن به سادگی با گاز فلورین و روشن کردن پلاسما و بنابراین تمیز کردن الکترودها و دیواره چمبره رشد. اهمیت عملی تمیز کردن چمبره در احتمال سقوط ذرات زاید بر روی زیرلایه و ایجاد نقوص در نیمه هادی می باشد.

تکنولوژی SiC

انتخاب نوع آلایش

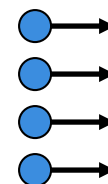
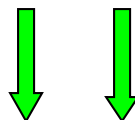
SiC

p - type (Al, Ga, B)

n - type (N, P)

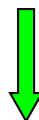
✓ نفوذ آرام آلاینده ها

✓ جاسازی یونی



تولید نقوص کریستالی 10-100 keV

✓ آلایش با ناخالصی ها در حین رشد



(ناخالصی بینابینی، ناخالصی های جایگزین شونده و کامپلکس با جاهای خالی)

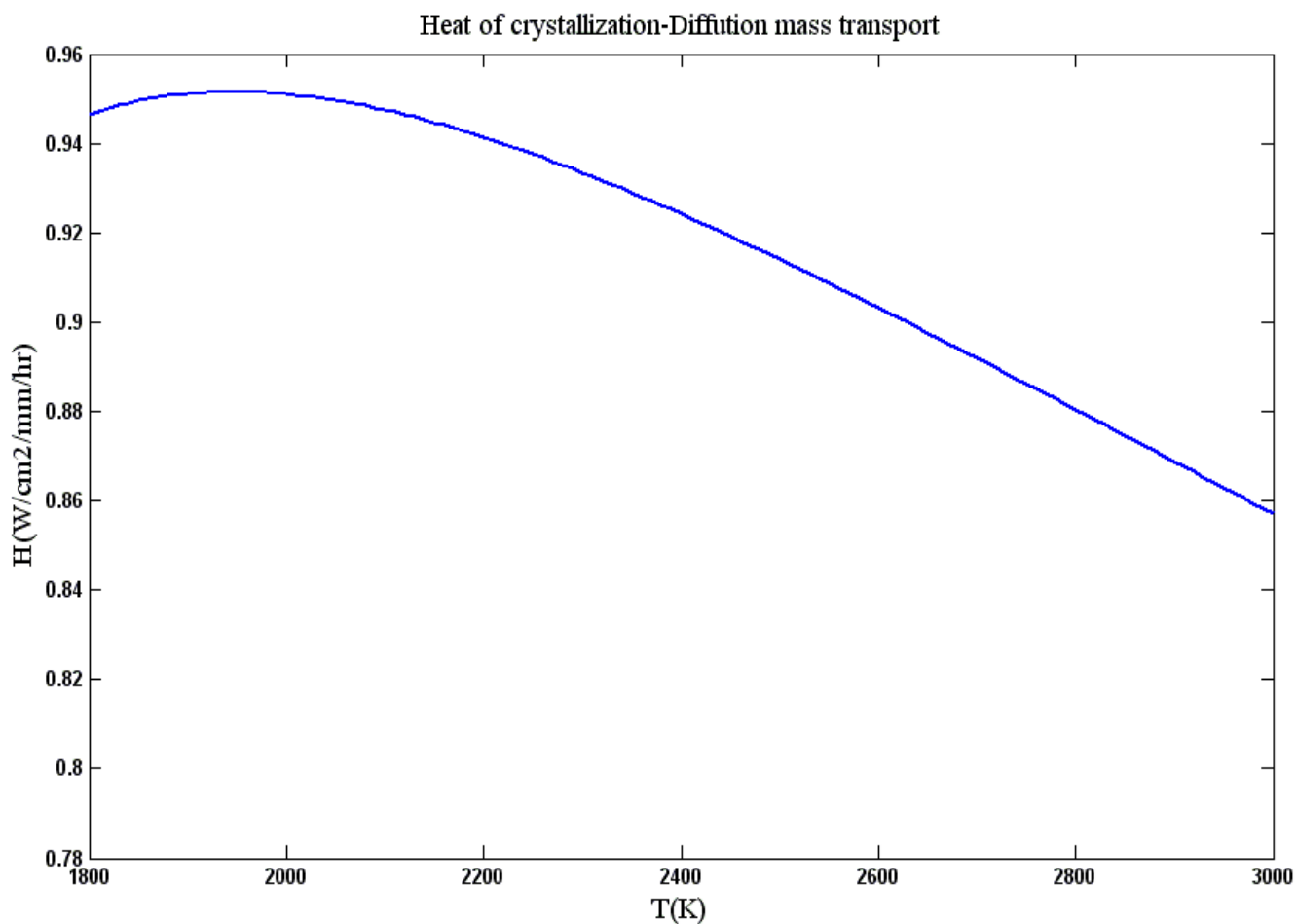
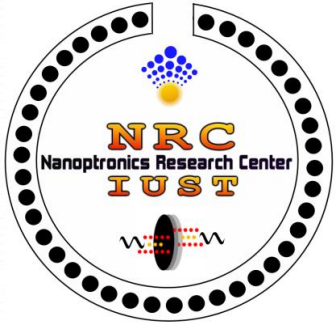
و تغییر ویژگی های الکتریکی

❖ یک سیستم شیمیایی از تعدادی ماده شیمیایی تشکیل شده است که با یکدیگر واکنش داده و دیگر گونه ها را بوجود می آورند. مقدار این واکنش ها به ترمودینامیک سیستم بستگی دارد.

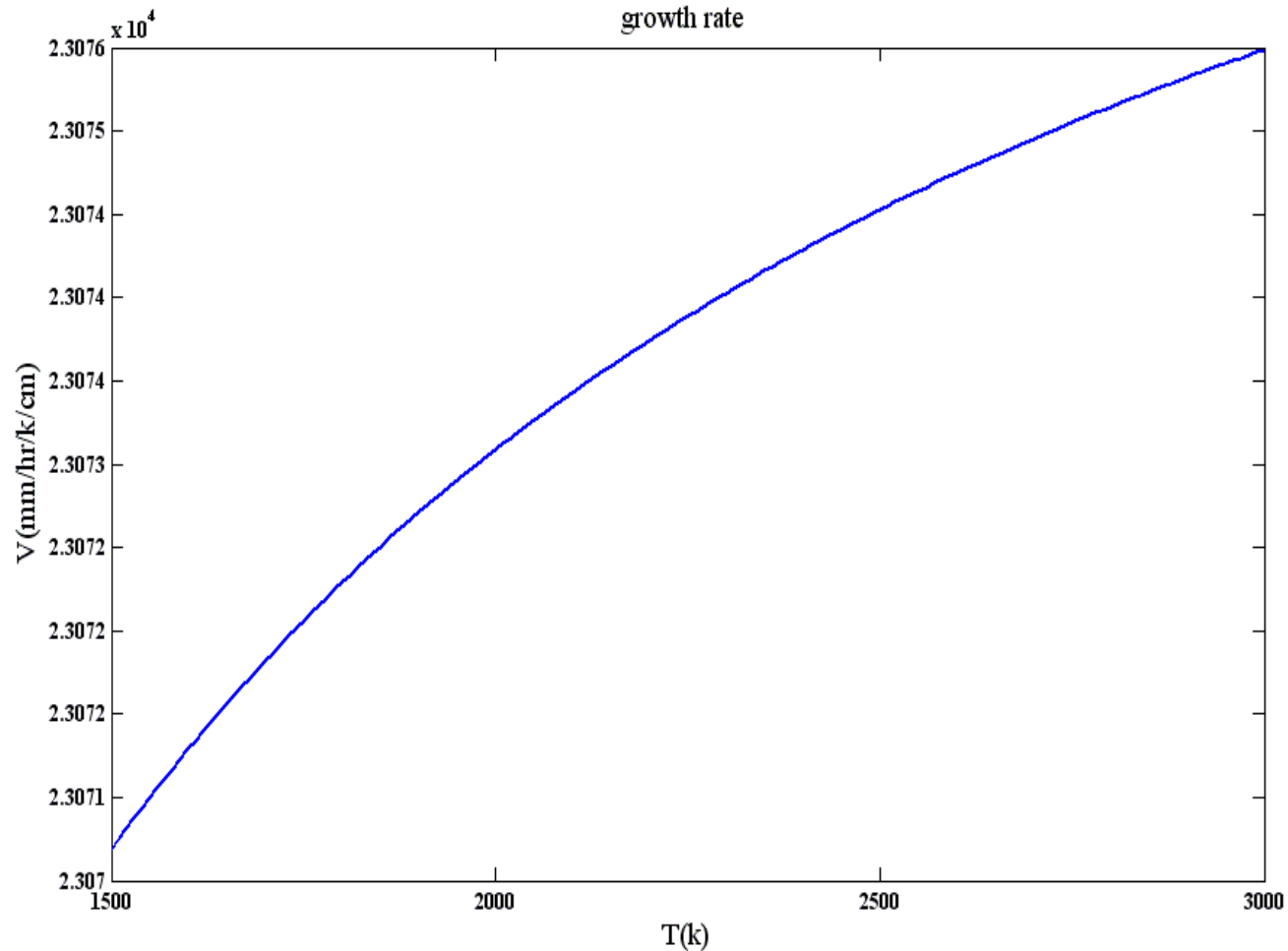
❖ داخل چمبره رشد گونه های شیمیایی از طریق مکانیزم های انتقال طبیعی یعنی همرفت و نفوذ جابجا می شوند. همرفت از اختلاف فشار در اثر واکنش های شیمیایی بوجود می آید و نفوذ از گرادیان های دمایی و غلظت ناشی می شود.

❖ اهمیت مکانیزم های انتقال مختلف بستگی به شرایط رشد دارد. فشار کمتر گاز خنثی منجر به انتقال از طریق همرفت به دلیل گرادیان های فشار می شود (شار استفان). البته در بسیاری از مدل ها از همرفت به دلیل پیچیدگی روابط صرفنظر می شود.

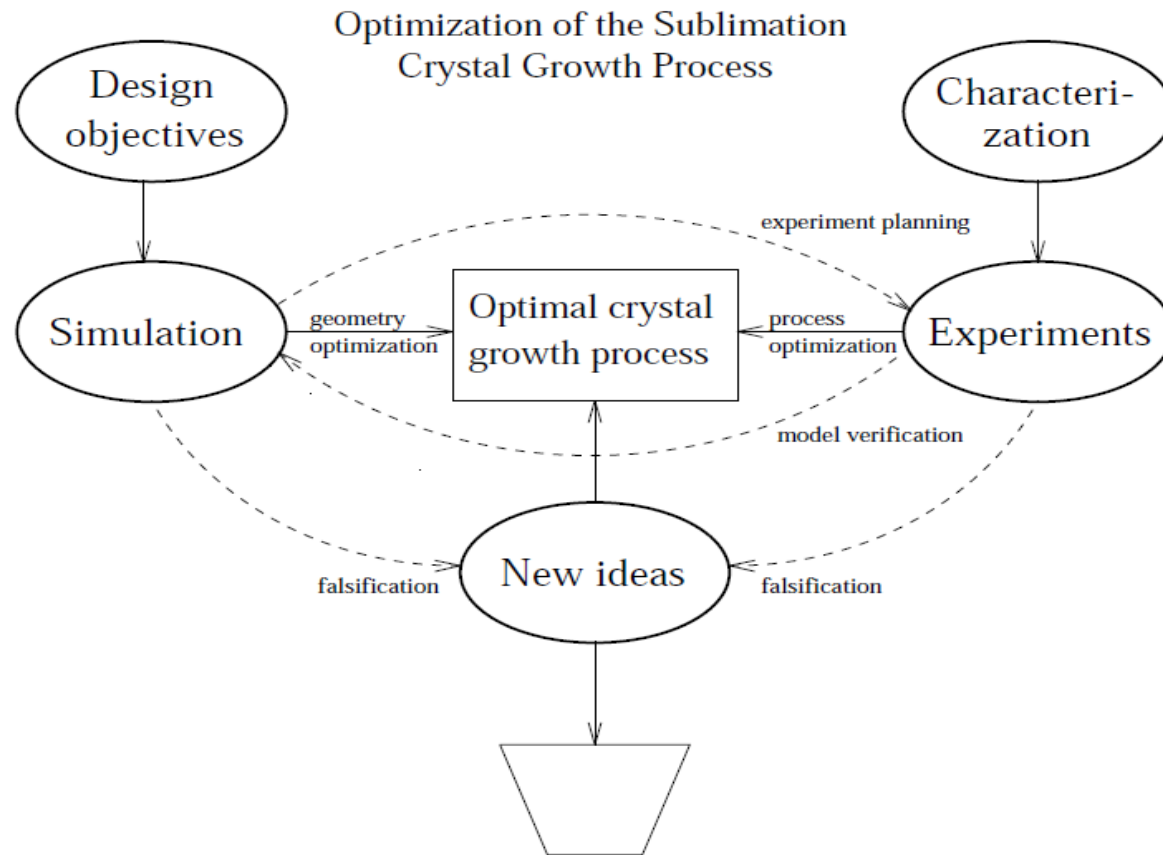
❖ هدف شبیه سازی ها محاسبه فلوی گرما و نرخ رشد در دمای داده شده می باشد. سپس به محاسبه ویژگی های فیلم حاصل پرداخته و تلاش می شود شرایط آزمایش براساس نتایج شبیه سازی ها بهینه سازی شود و تا به ویژگی های مطلوب و مورد نظر دست یافت.



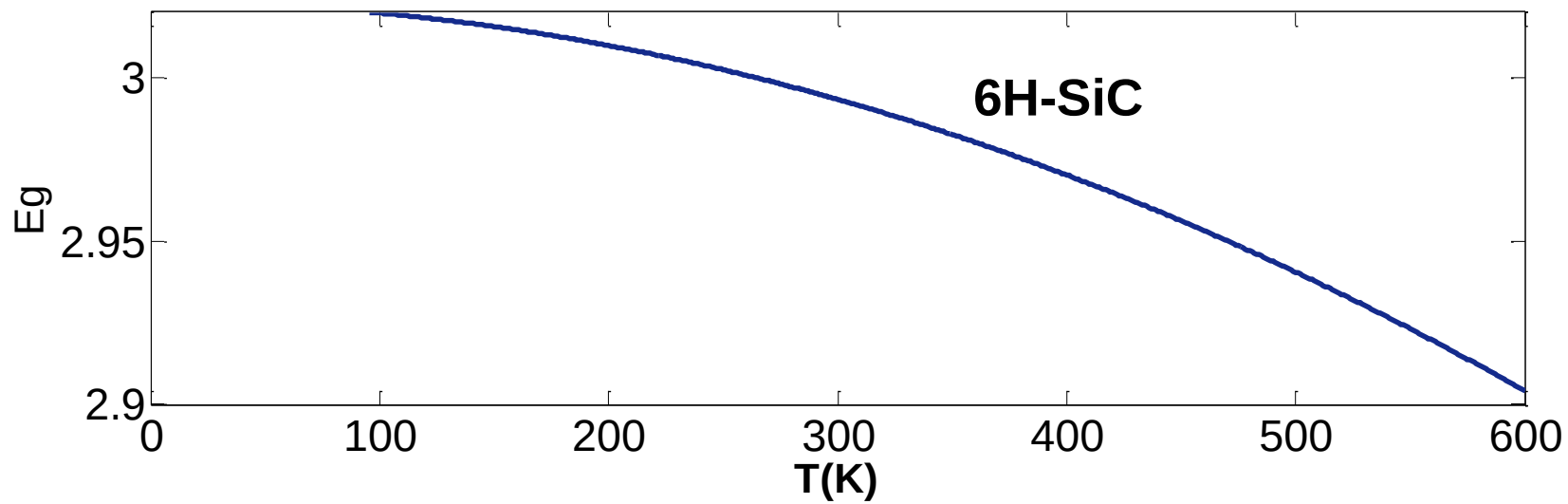
نرخ رشد فیلم براساس دمای داخل چمبره رشد



الگوریتم بهینه سازی



فرایند رشد تاثیر زیادی بر روی ویژگی های فیلم رشد داده شده دارد. به همین دلیل شبیه سازی ابزاری مناسب برای بهینه سازی شرایط فرایند می باشد.





چشم انداز آینده

❖ پس از دستیابی به تکنولوژی ساخت فیلم های **SiC** و آلایش **p** و **n** آنها، باید درجهت ساخت ساده ترین دیود یعنی دیود شاتکی قدم برداشت.

❖ سپس فناوری دستیابی به دیودهای **p-n** را دنبال کرد.

❖ ترانزیستورها و بویژه ماسفت های قدرت در گام بعدی است.

❖ بدنبال آن IC های قدرت بر مبنای تکنولوژی **SiC**

❖ پیش به سوی صنایع **SiC**

با تشکر از شما!



مرکز تحقیقات نانوپترونیکس