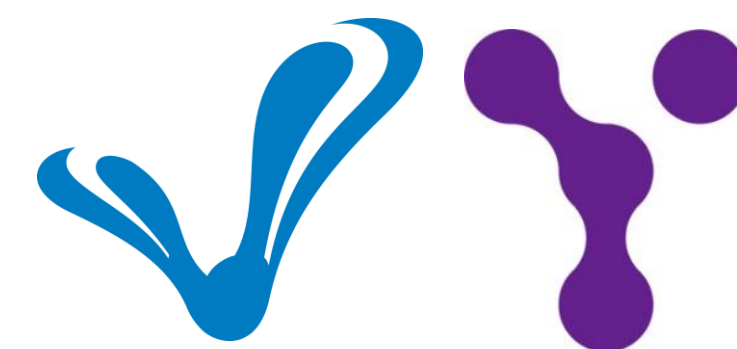




大学院 先端材料理工学コース ○小倉 大知、室屋 颯太、今井 賢人、佐藤 哲也
ミヤ通信工業(株) 清水 翼、本山 慎一

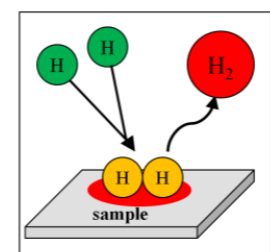
【今後の展開 商品イメージ応用できる分野】

半導体製造プロセス応用：パワーデバイス創製

研究背景と目的

- ◎ SiCの高速・高温アニール（800～1800℃）⇒欠陥低減、界面準位密度(Dit)低減
- ・電気炉で高温アニール → 課題(装置、時間、大気雰囲気中)
- マイクロ波励起水素プラズマ照射による急速加熱法の開発（山梨大）

水素ラジカルの再結合反応を利用したマイクロ波加熱
→金属基板表面において～1000℃の急峻加熱を実現



高速かつ選択的加熱
800～1800℃を実現する
ためのプロセス開発

T. Arai, et.al., "Selective Heating of Transition Metal Usings Hydrogen Plasma and Its Application to Formation of Nickel Silicide Electrodes for Silicon Ultra large-Scale Integration Devices," J. Mater. Sci. Chem. Eng., vol. 4, pp. 29–33, (2016).

実験

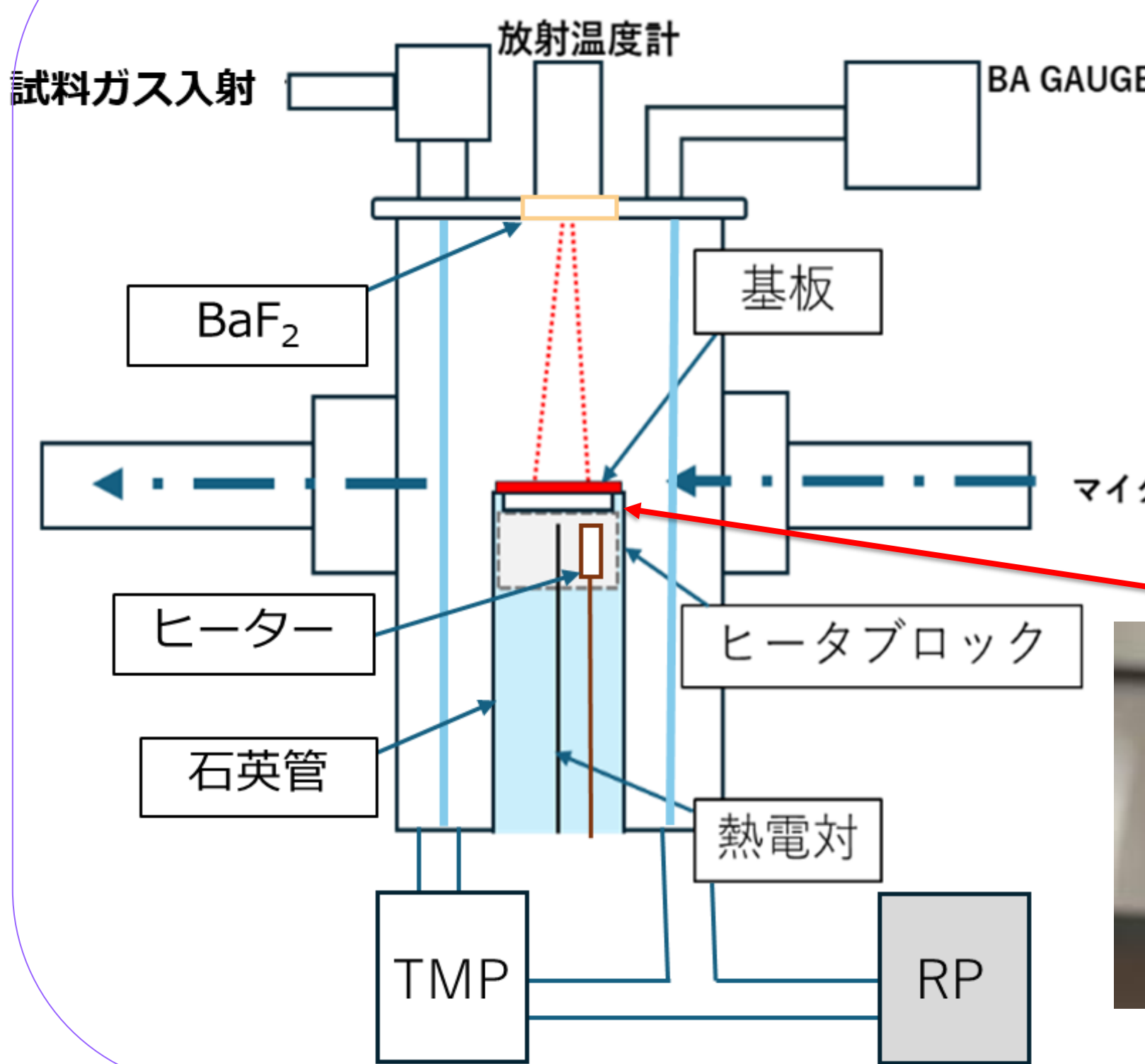
- 希ガス、H₂, O₂, N₂プラズマを用いたSi, W基板加熱.
- CH₄/H₂プラズマを用いたDLC成膜、Si基板の炭化
- プラズマ照射により改質された表面状態の分光学的評価
分光エリブソメトリ (SE)、X線光電子分光法 (XPS : ガスクラスターイオン銃 (GCIB) 、
逆光電子分光法 (LEIPS))、C-K吸収端近傍X線吸収微細構造解析 (NEXAFS)

第73回応用物理学会春季学術講演会 室屋颯太他, 18a-PB4-5 (2026)
第73回応用物理学会春季学術講演会, 今井賢人他, 17p-M_103-8 (2026)

W(10nm)
DLC(10～20nm)
SiC

←水素再結合反応促進
←保護キャップ層

実験装置



マイクロ波プラズマCVD装置
DC-1020(chemitronics製)

マイクロ波：2.45GHz POWER：最大1kW
石英製フォルダ：φ30mm
排気機構：TMP ICF152 + RP
到達真空度：2×10⁻³Pa



基板サイズ25×25(mm)

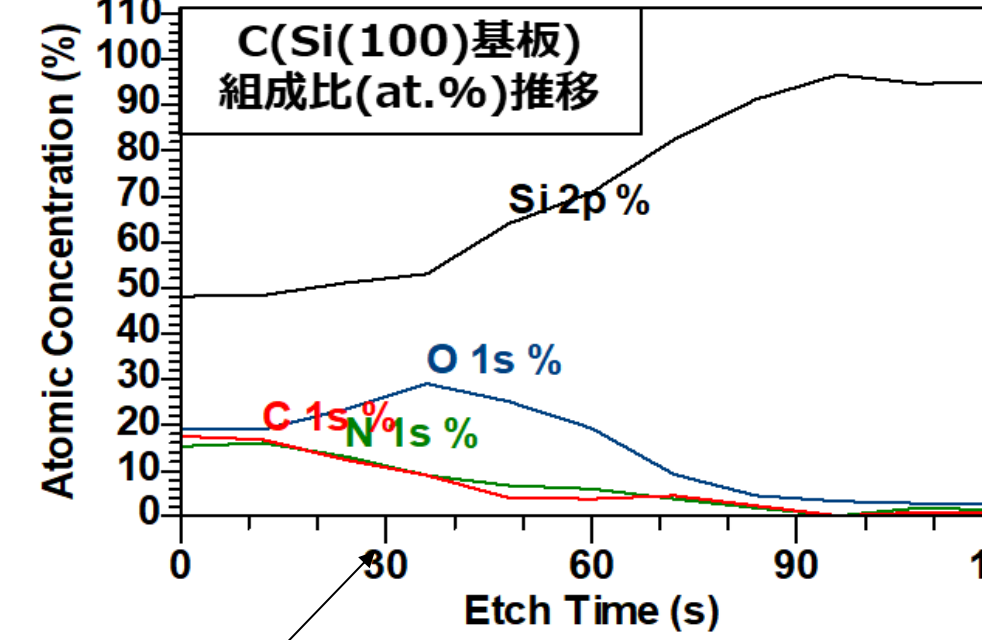
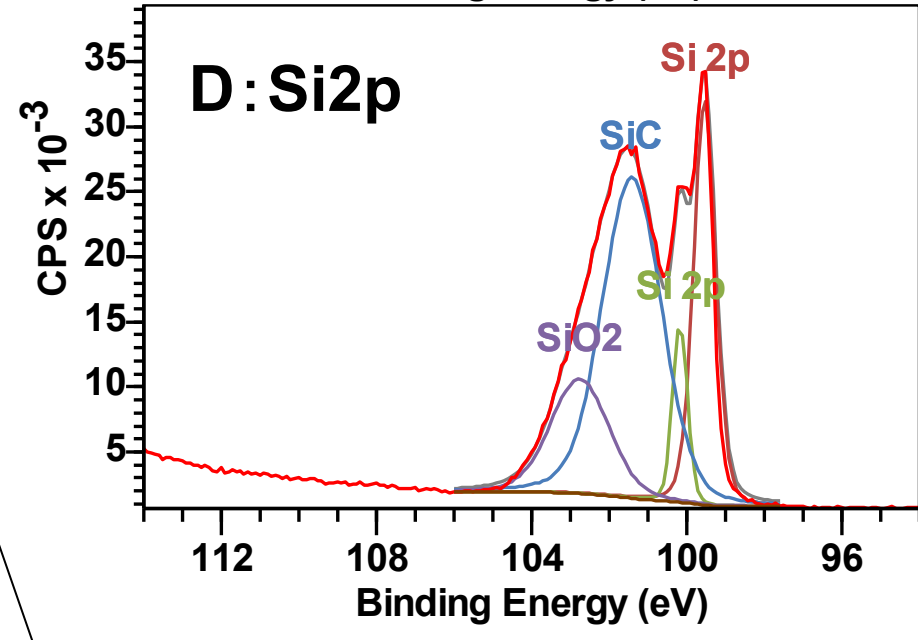
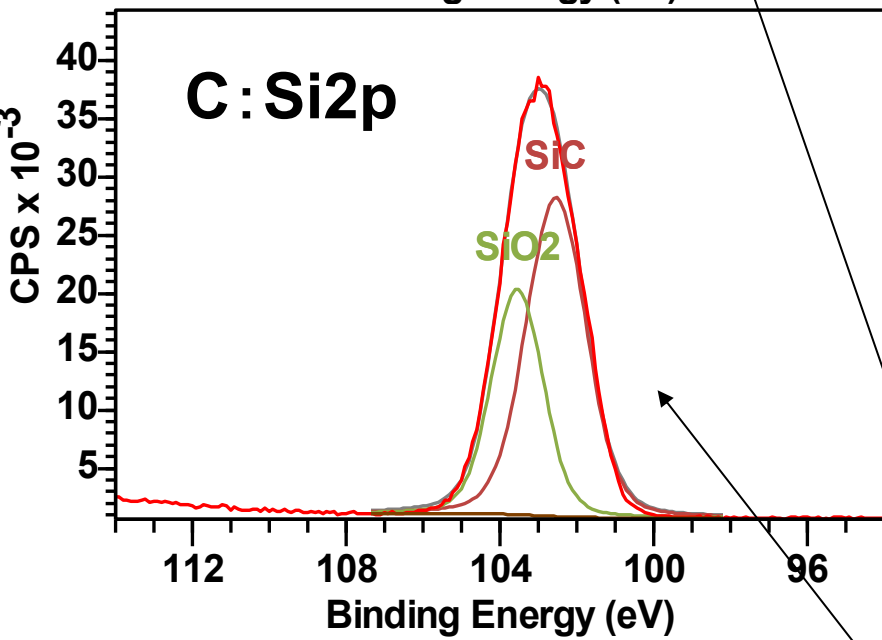
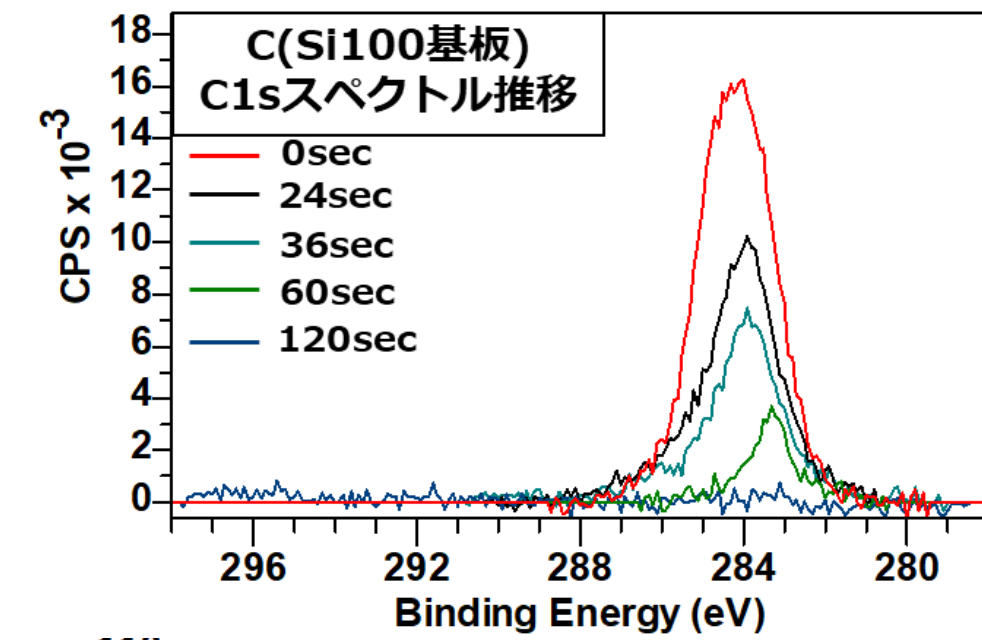
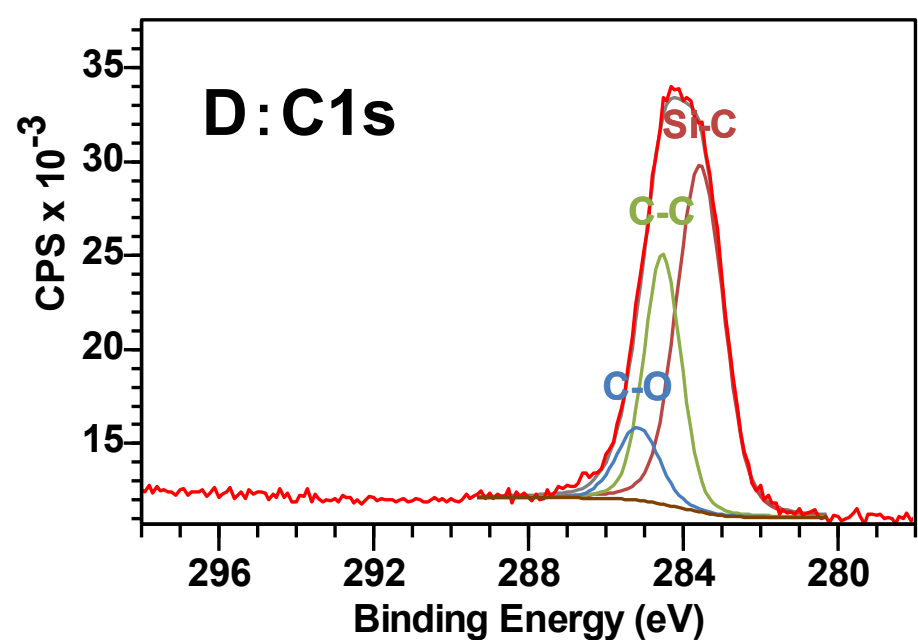
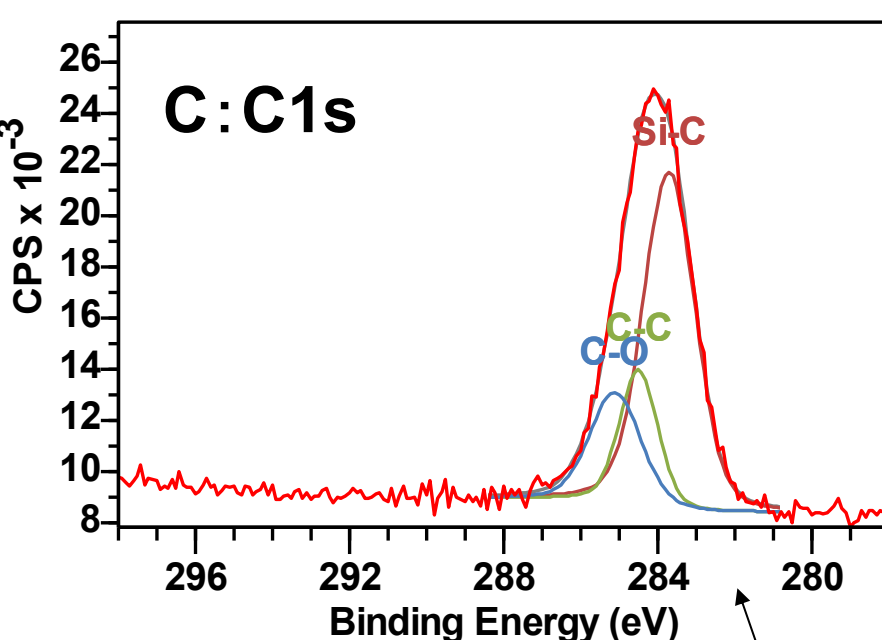
窓材：BaF₂
透過率：0.830

測定材料	放射率
Si	0.815
SiC	0.565
W	0.750

実験結果・解析

サンプル番号	C	D
基板	Si(100)	Si(111)
マイクロ波電力(W)		900
水素流量(sccm)		100
メタン流量(sccm)	1.0	7.5
成膜時間(min)		10
ステージ高さ(mm)		24
チャンバー圧(Torr)	0.40	0.7
膜厚(nm) [MSE]	12.6 [5.0]	6.7 [3.6]

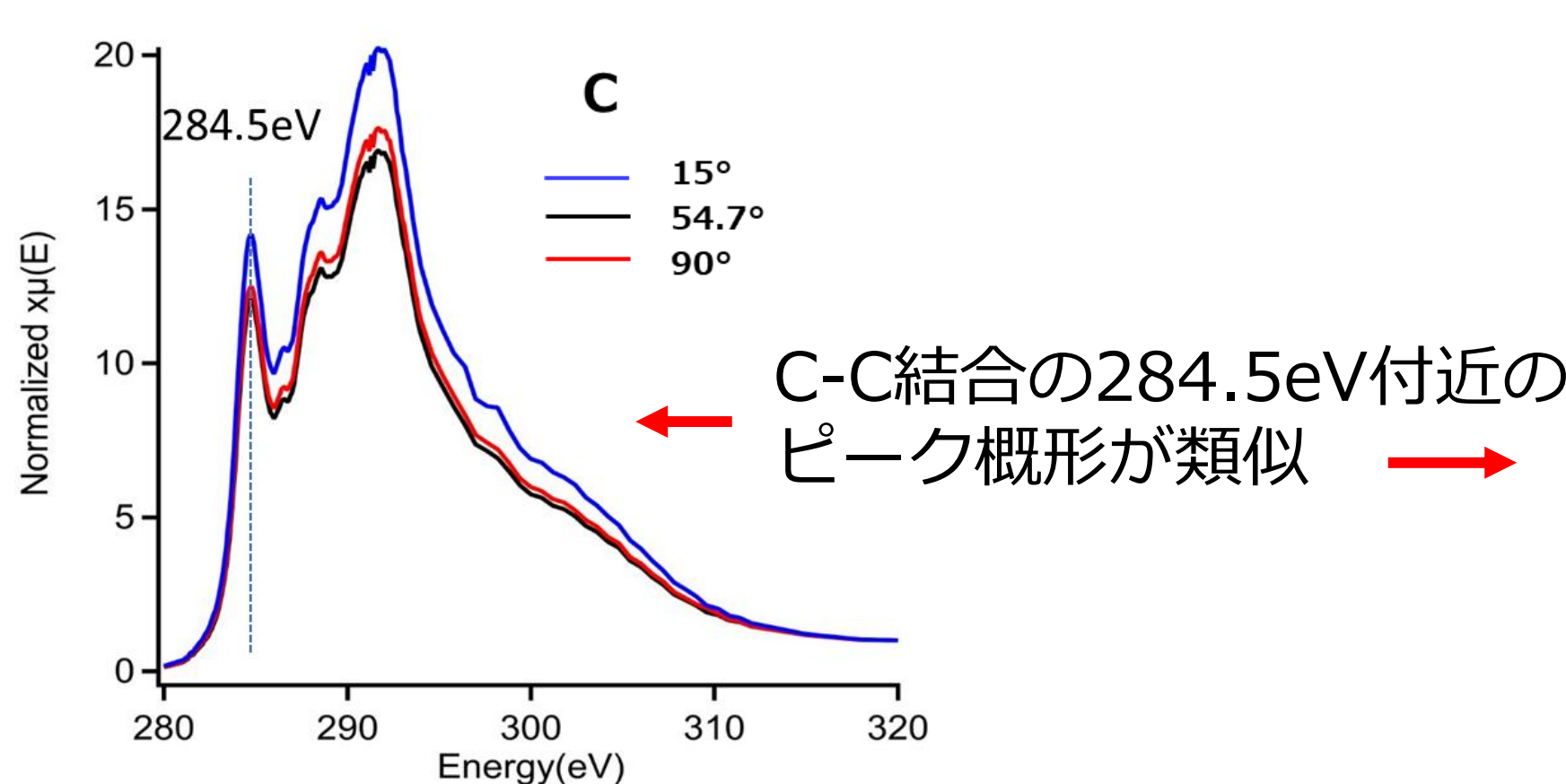
元素	C組成(at.%)	D組成(at.%)
基板	Si(100)	Si(111)
メタン流量(sccm)	1.0	7.5
C1s	16.5	30.6
O1s	17.2	10.4
Si2p	48.7	56.1
N1s	17.7	2.9



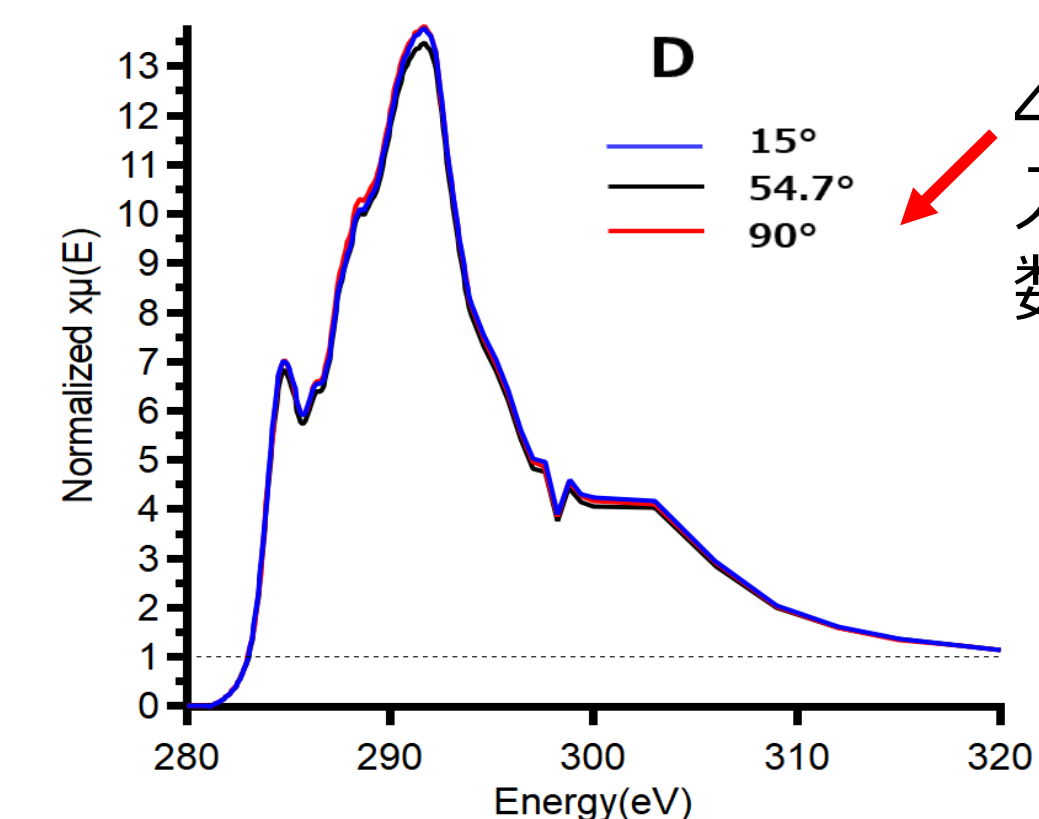
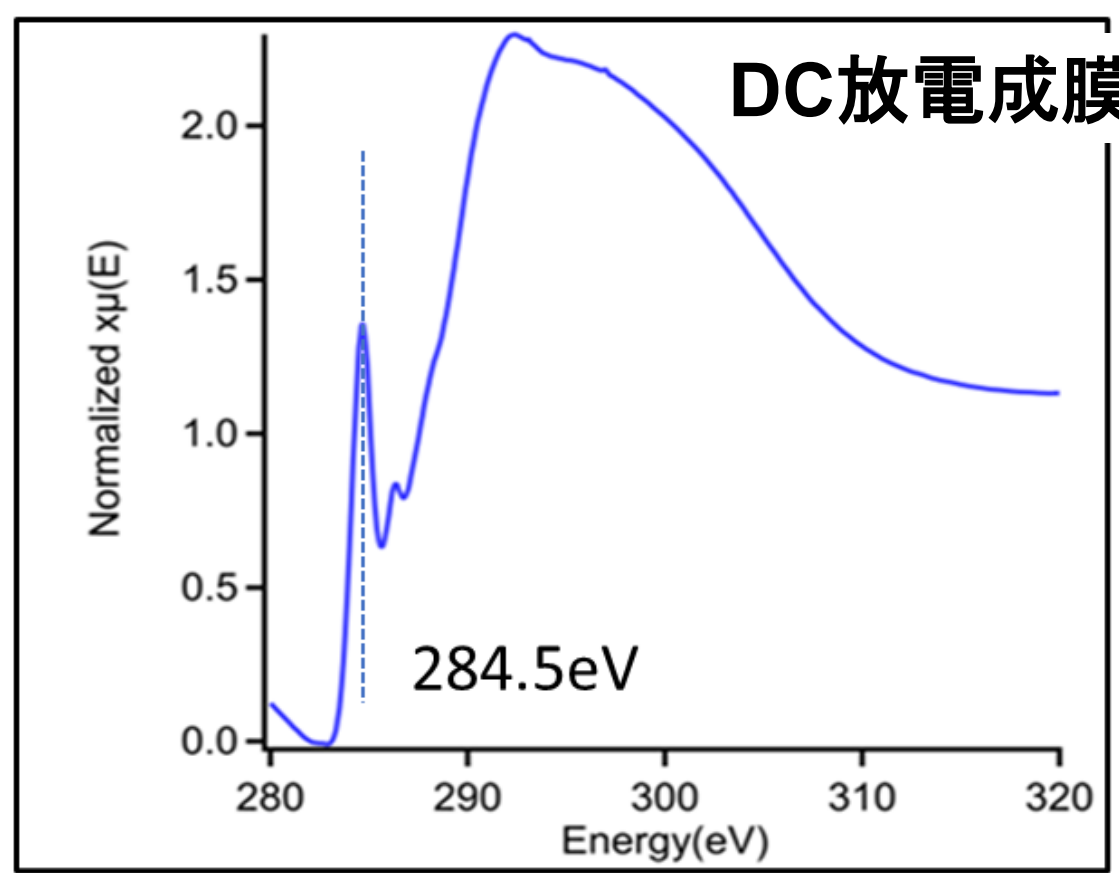
SiCとC-C結合が形成された

深くまでOが混入
基板近傍ではSiO₂が形成

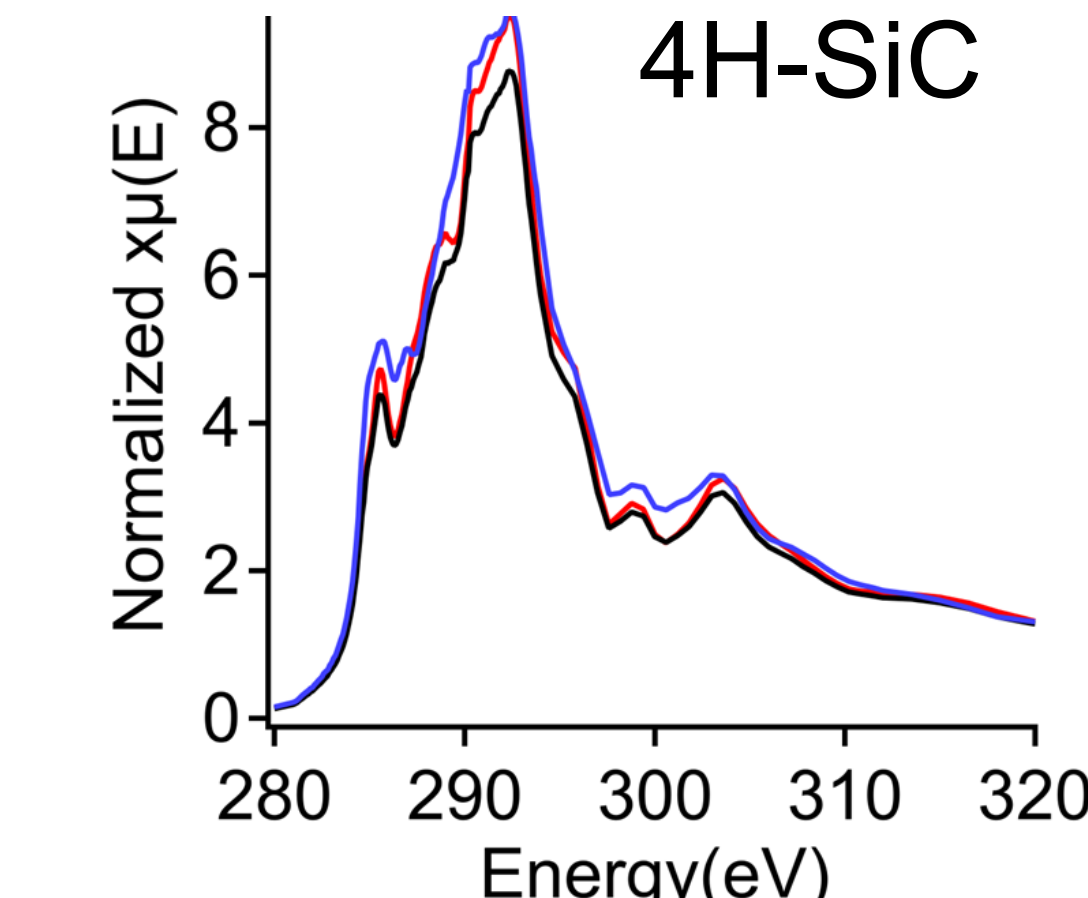
NEXAFS解析



C-C結合の284.5eV付近の
ピーク概形が類似 →



4H-SiCに概形が類似
入射角依存性が小さく
数nm厚のSiC層形成

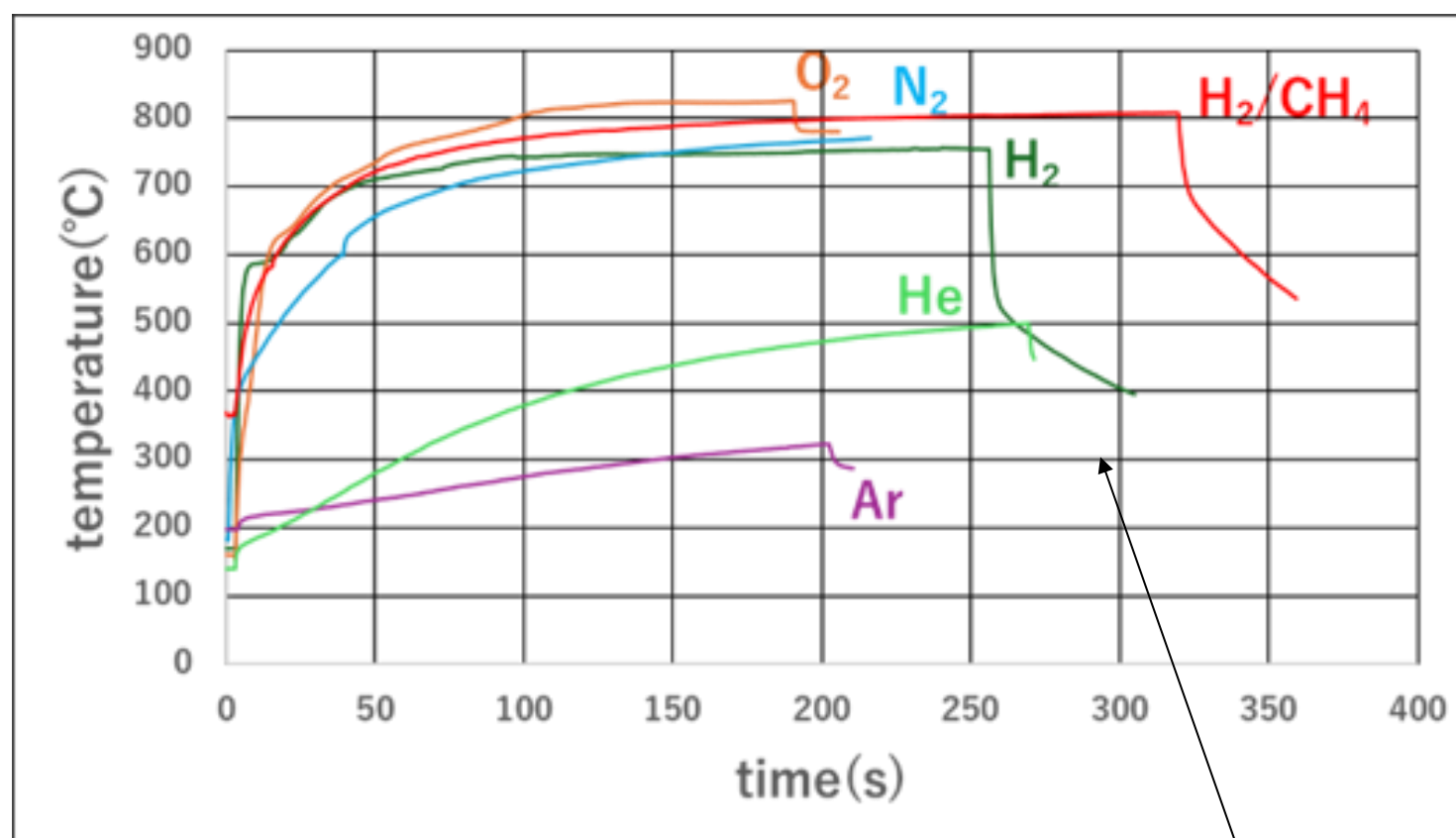


水素／メタン混合プラズマで合成したDLCのsp²成分の入射角度依存性

	C	D		※DC放電成膜(10K)	※RF放電
基板	Si(100)	Si(111)	SiC(0001)	Si(100)	Si(100)
試料ガス流量(sccm)	CH ₄ (1.0)	CH ₄ (7.5)	CH ₄ (1.0)	He(400Torr) C ₂ H ₂ /He(10%) (100Torr)	CH ₄ (10) H ₂ (10)
sp ² 成分	Θ=15° Θ=54.7°	31.4 79.2	56.0 -	34.7 78.5	24.3 71.2
					25.7 52.7

加熱温度プロファイル

W基板に対する各ガスの昇温特性

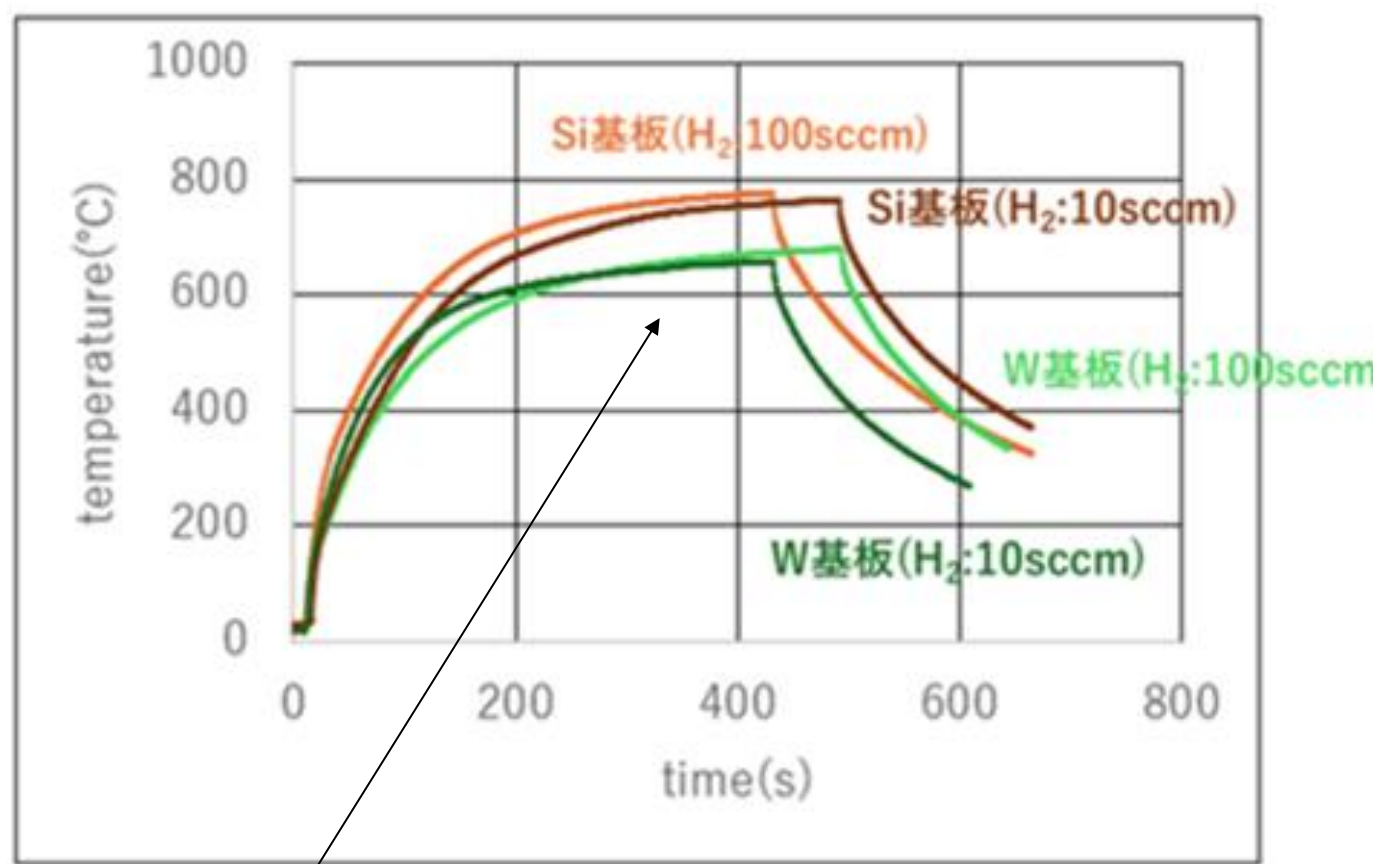


ガス種	到達温度(℃)	反射波(kW)
H ₂	757	0.20
Ar	323	0.38
O ₂	826	0.21
N ₂	771	0.23
He	500	0.34
H ₂ /CH ₄	808	0.11

O₂ガスが最も到達温度が
高く、H₂,H₂/CH₄
ガスも比較的高い。

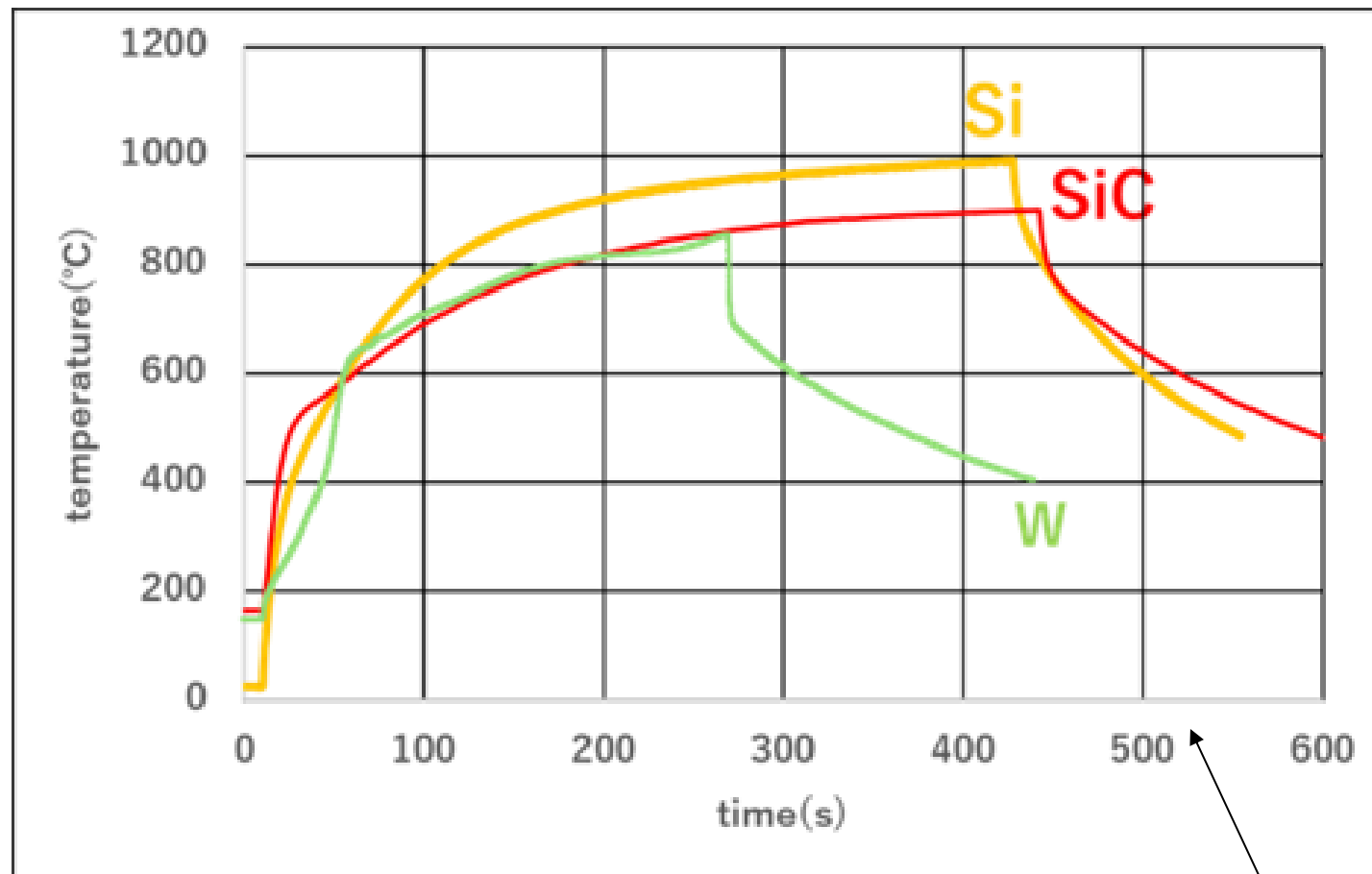
ガス流量には到達温度に大
きな差は見られない。Wよ
りもSi基板の方が到達温度
は高くなった。

H₂プラズマによる各基板、ガス流量の依存性



サンプル名	A	B	H	I
H ₂ (sccm)	100	100	10	10
基板	Si	W	Si	W
圧力(Torr)	0.42	0.43	5.07	3.96
到達温度(℃)	778	681	766	660
反射波(kW)	0.30	0.30	0.01	0.02

O₂プラズマによる各基板の依存性

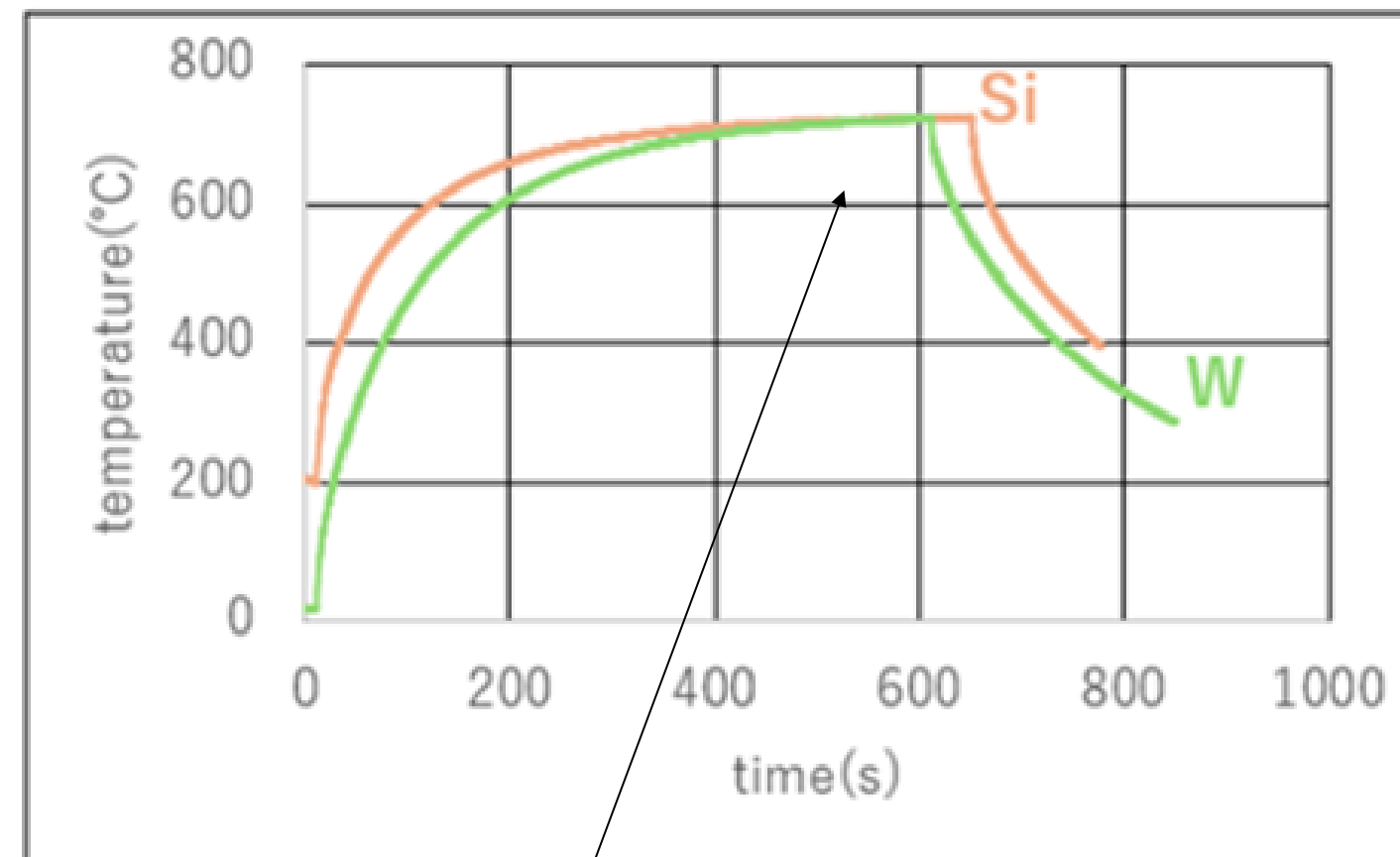


サンプル名	E	F	G
O ₂ (sccm)	10	10	10
基板	Si	W	SiC
圧力(Torr)	6.63	5.80	6.17
到達温度(℃)	994	855	901
反射波(kW)	0.17	0.41	0.12

本来高くなると予想してい
たWに比べ、Si基板の方が
到達温度が高くなった。

どちらの基板もDLC成膜条
件での加熱は、到達温度に
差はみられなかった。

DLC成膜条件による各基板の依存性



サンプル名	C	D
H ₂ (sccm)	100	100
CH ₄ (sccm)	1	1
基板	Si	W
圧力(Torr)	0.38	0.62
到達温度(℃)	726	725
反射波(kW)	0.25	0.20

成膜レート比較

	本研究装置	ラジカル酸化	熱酸化（電気炉）	RLSAマイクロ波表面波プラズマ（※）
酸化（nm/min）	4.5	1.2	1.0	4.0

※「小特集 実用化プロセスにおけるプラズマ源の革新～平行平板プラズマ源から新プラズマ源へ～ 2. マイクロ波表面波プラズマを用いたシリコン酸化窒化 山本伸彦 東京エレクトロン AT SD 開発技術部 J. Plasma Fuson Res. Vol.87.pp4-8 (2022).

※「トリメチルアルミニウム凝縮層の酸素プラズマ励起によるAlOxの極低温形成とSi(Ge)の低温酸化に関する研究」加藤広大,卒業論文（2022）

まとめ・展望

- ・水素,メタンの混合ガスプラズマのSi基への照射により、約100秒で室温～高温(約 800 ℃)に到達しSi基板が炭化された。4 H-SiCが形成される可能性がNEXAFSから示唆された。
- ・メタン/水素混合ガスプラズマでSi基板上に堆積にしたDLCはsp²成分が約80%であった。
- ・Si基板は、短時間（数分）で酸化および窒化された。マイクロ波プラズマは酸化速度が大。
- ・加熱実験の際、石英製ステージ・チャンバー内壁がエッチングされコンタミとなるため石英表面にアルミナなど保護膜コーティングを検討する。
- ・MOS形成と電気特性評価（SiC移動度、Dit計測）

謝辞

YGK（株）様よりマイクロ波プラズマCVD装置を寄贈頂きました.深謝申し上げます