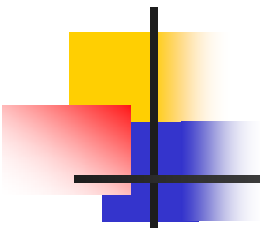


陽電子ビームによるSi中イオン注入欠陥の研究

物質・材料研究機構 物質研究所

赤羽 隆史



陽電子ビームによるSi中イオン注入欠陥の研究

- 化学研磨の併用による深さ方向の分解能の向上
- イオン注入により生成される欠陥と注入イオンの相互作用

共同研究者

宮越 達三(東大 工)

田所 真一(東大 院 工)

藤浪 真紀(東大 院 新領域)

澤田 嗣郎(東大 院 新領域)

鈴木 良一(産総研)

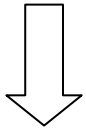
大平 俊行(産総研)

エネルギー可変陽電子

→ 深さを変化させての分析が可能

陽電子エネルギー 大

→ 陽電子の分布 大



化学研磨の併用

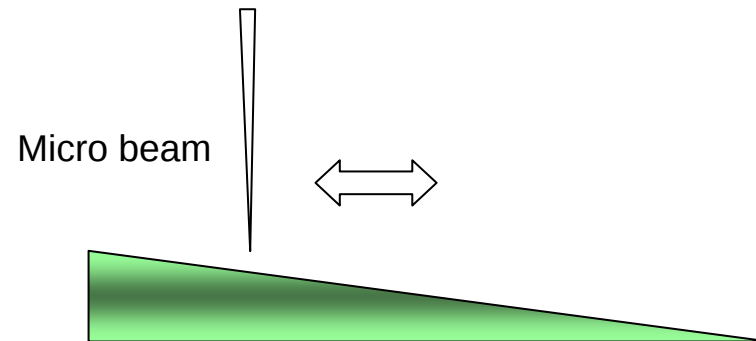
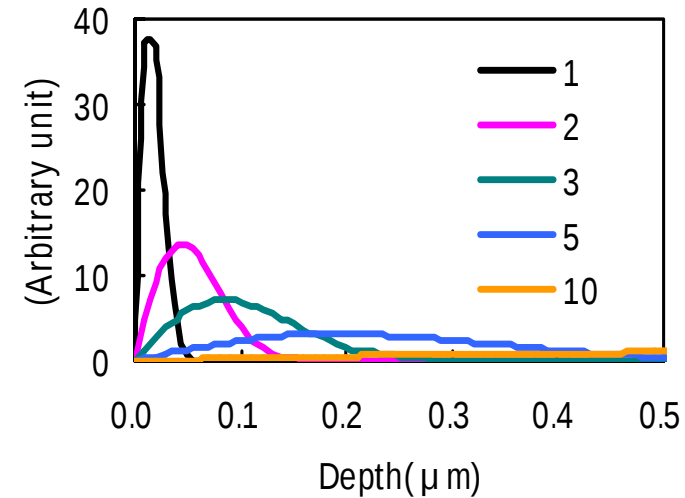
Fujinami et al.(1993)

Coleman et al.(1998)

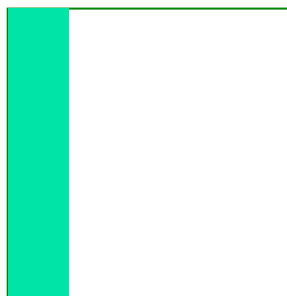
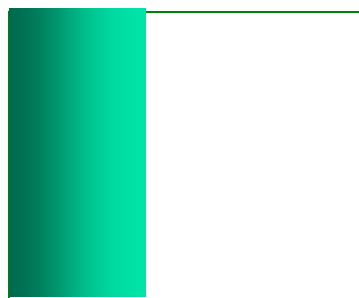
Krause-Rehberg et al.(2001)

楔型試料

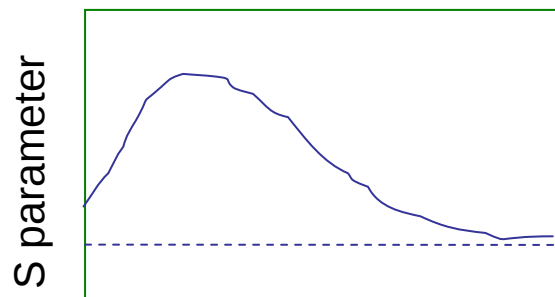
Implantation profile



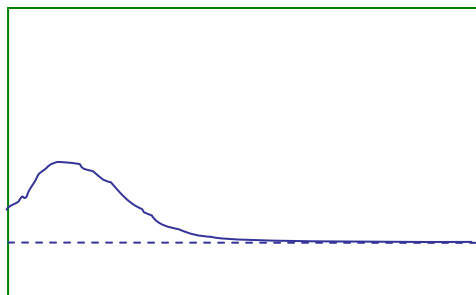
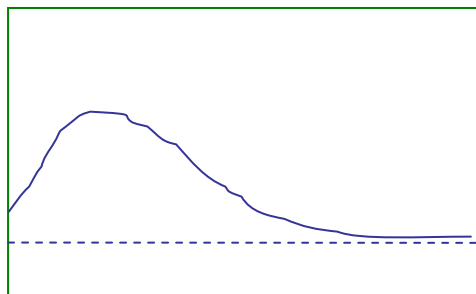
Sample



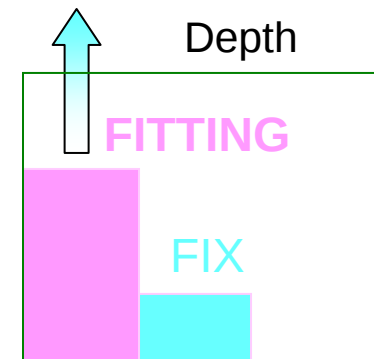
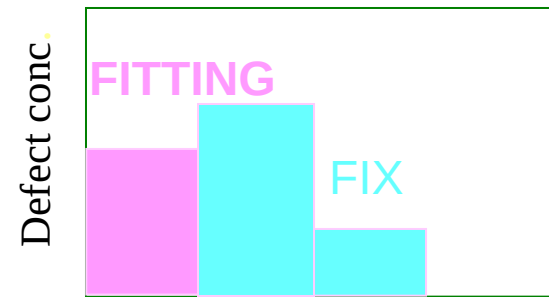
S-E Plot



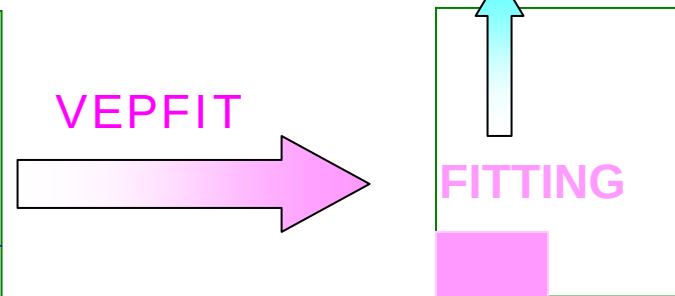
e^+ energy



Depth profile

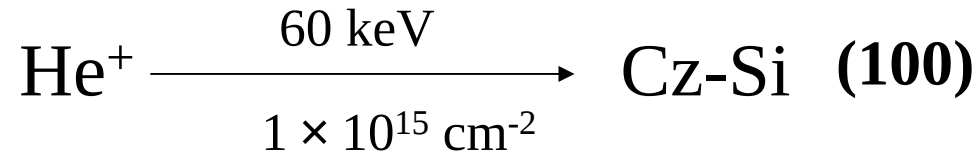


VEPFIT



実験の概要

イオン注入



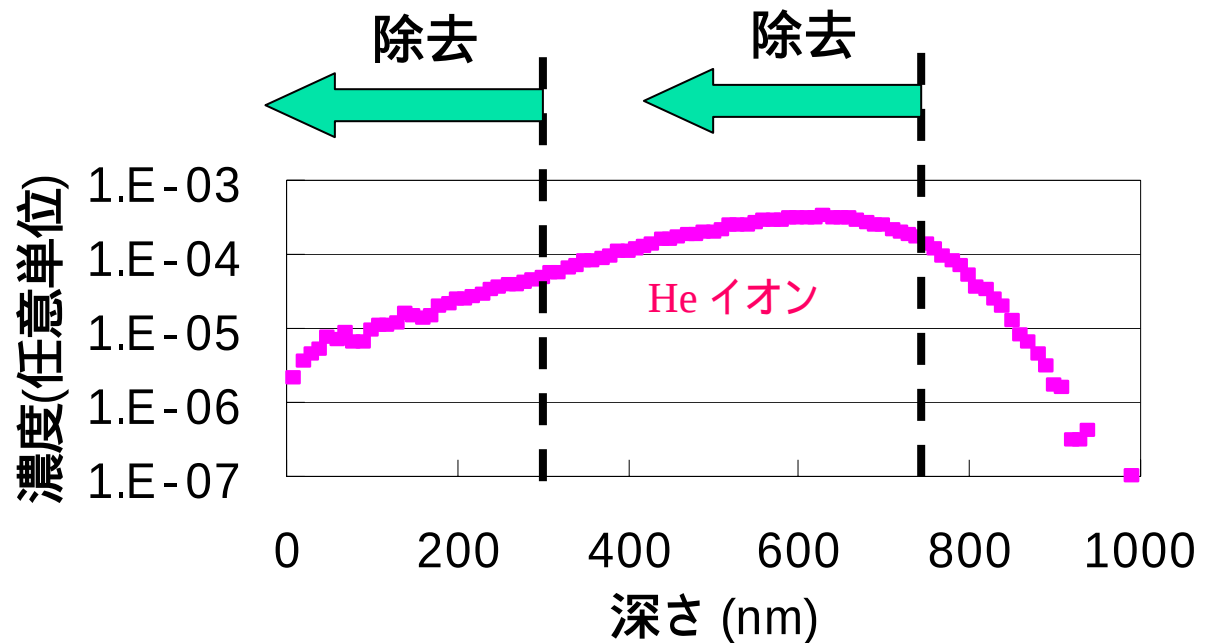
表面エッチング液

— KOH水溶液

陽電子ビーム測定

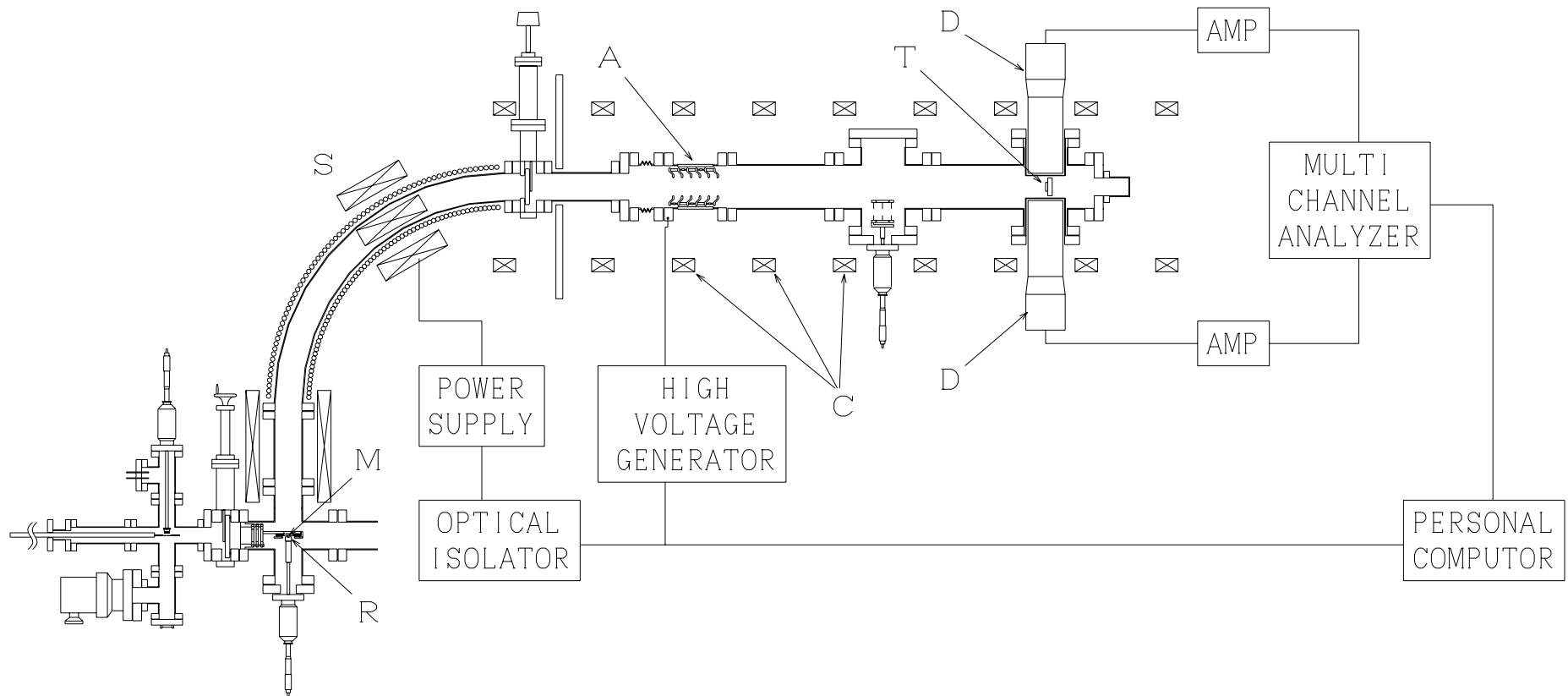
✓Sパラメーター

✓陽電子寿命

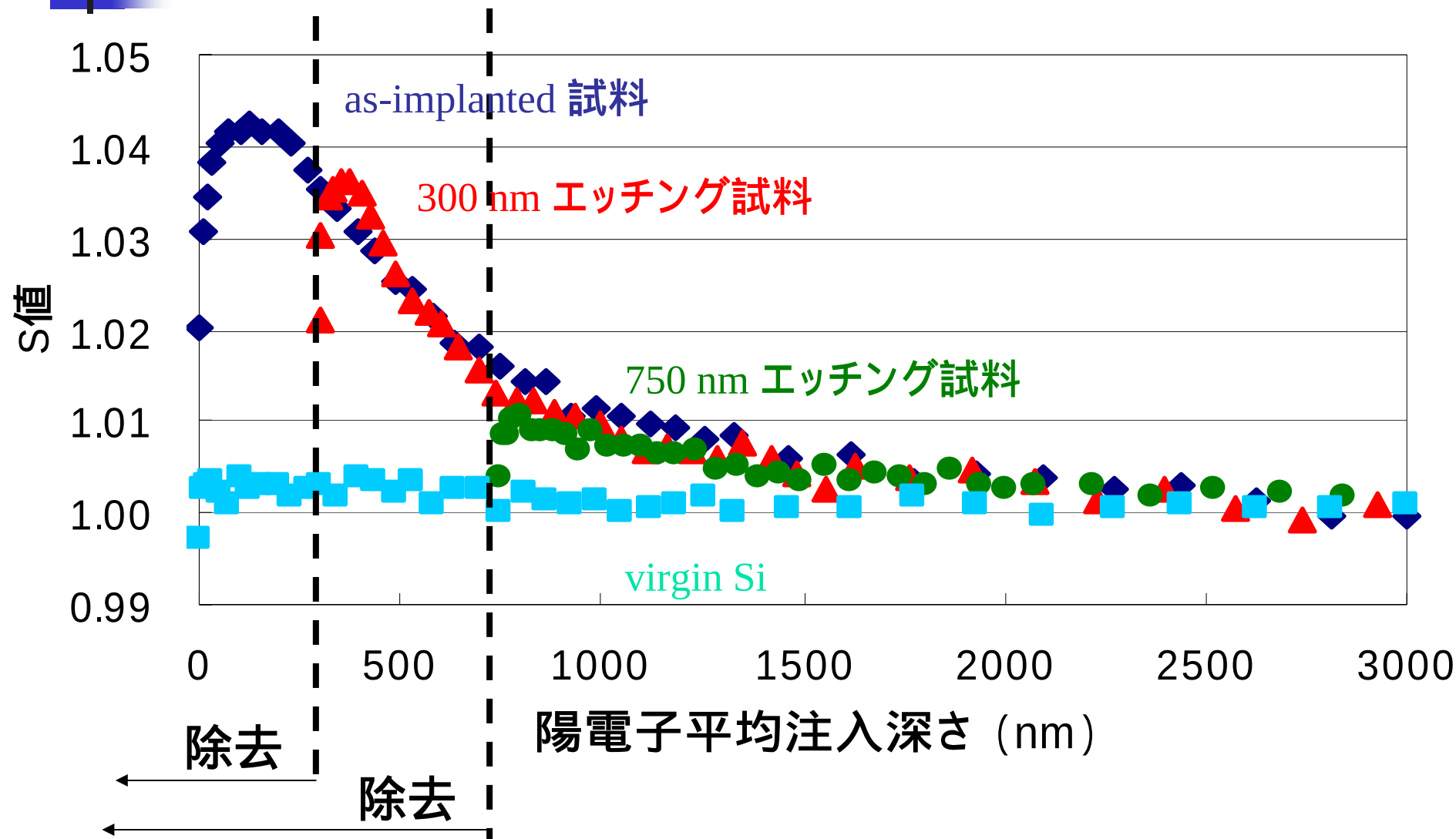


TRIMによる He^+ (60 keV)注入Si中のイオン分布の計算結果

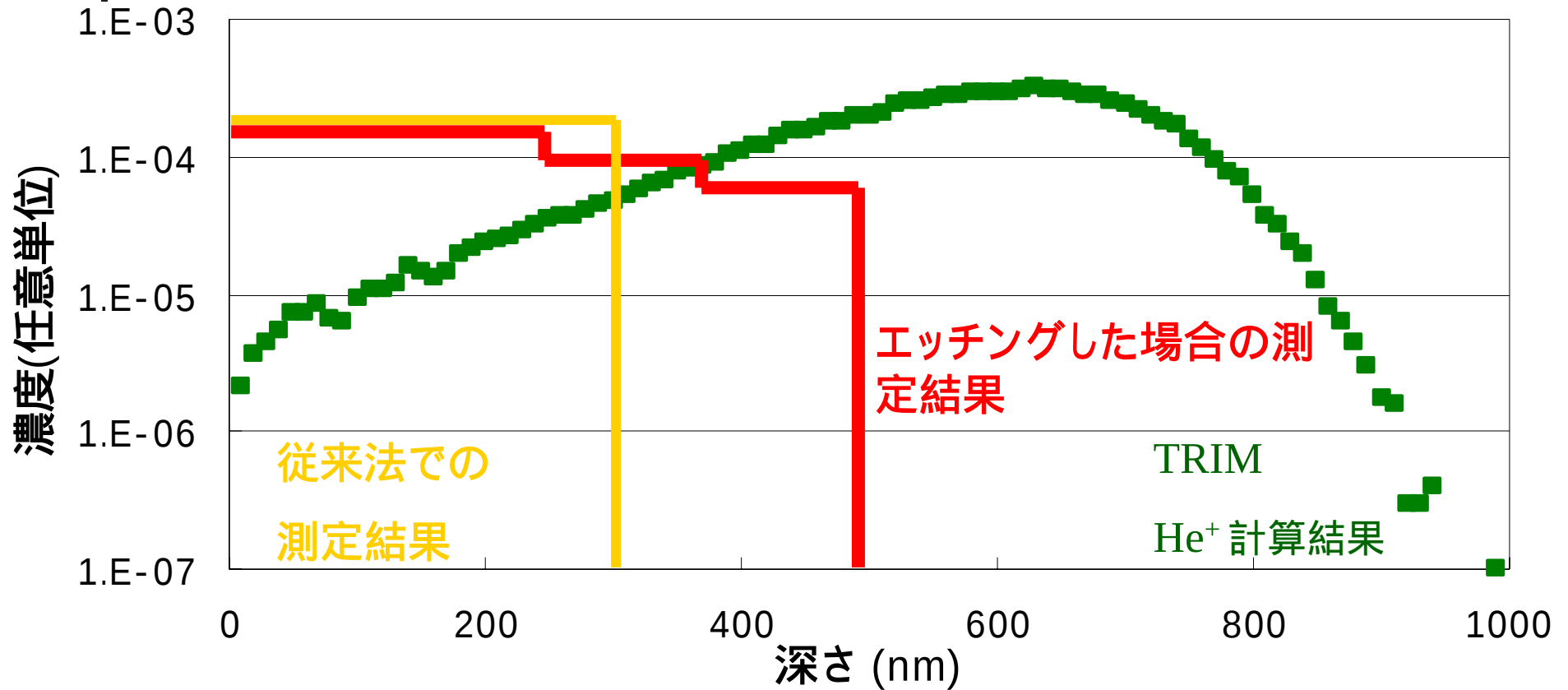
磁場誘導型陽電子ビーム装置



S-E plots for Si implanted with He^+ ($1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$, 60keV)



単純空孔欠陥の深さ分布



エッチングにより, 欠陥分布を精度よく決定

イオン注入領域での欠陥が検出されていない

→ 複合体形成の可能性

エッチング試料の陽電子寿命測定

最表面 ~ 300 nm $\tau_1 = 302$ ps

300 nm ~ 600 nm $\tau_1 = 285$ ps

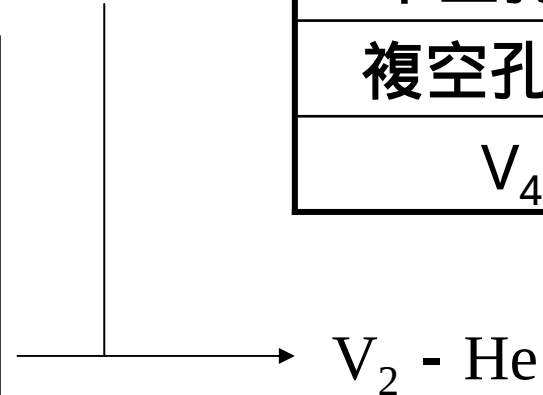
- ✓ V は常温で不安定
- ✓ 欠陥のサイズは V と同程度
- ✓ 低い S を示す

欠陥種

V_2

V ?

欠陥種	寿命
バルク	218 ps
単空孔(V)	275 ps
複空孔(V_2)	300 ps
V_4	330 ps



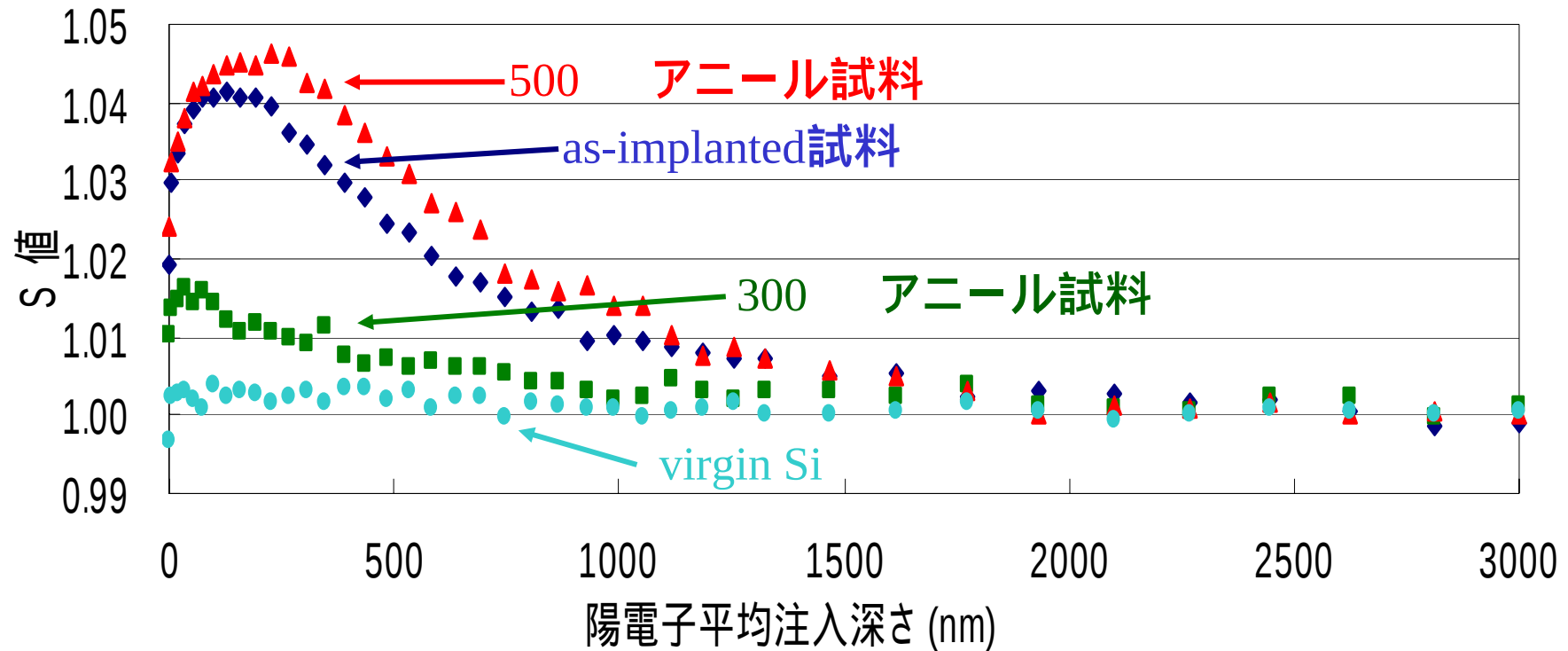
従来法では 20 ps の寿命の違いは分離できない

化学エッチングにより,
初めてHe修飾空孔の存在を示すことができた

アニール試料でのSパラメータの深さ依存性

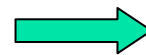
単純な空孔の場合,

アニール温度上昇でS値は増加した後減少していく



300 アニールでSが減少

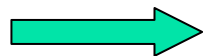
500 アニールでSが増加



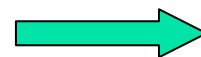
複合体欠陥の存在を示唆

欠陥種のアニール温度依存性

as-implanted

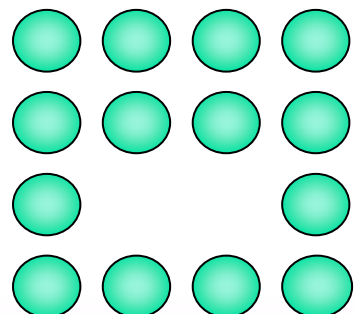


300



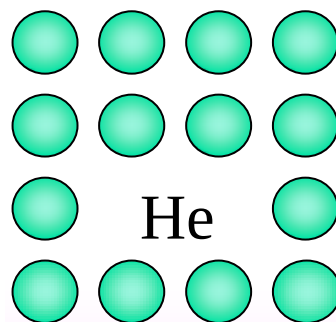
500

surface



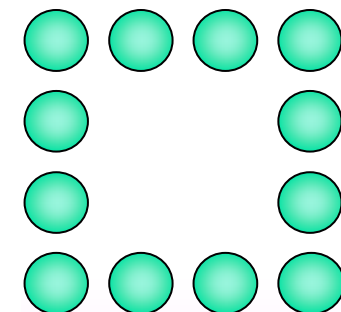
V_2

302 ps



V_2 - He

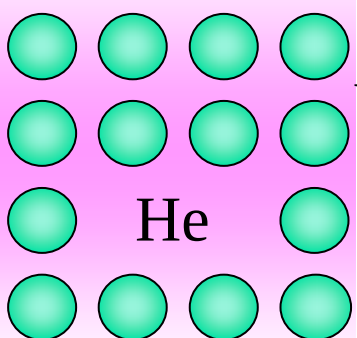
285 ps



V_4

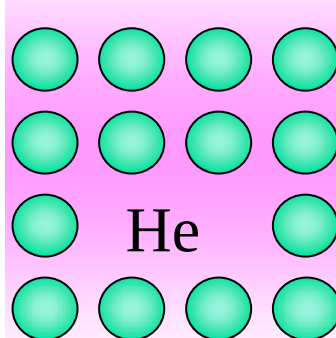
337 ps

300 nm



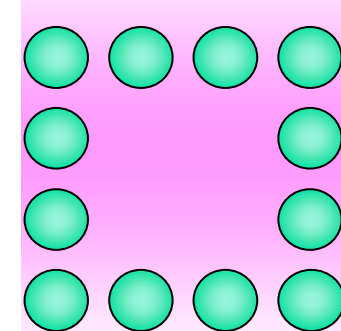
V_2 - He

285 ps



V_2 - He

276 ps



V_4

324 ps

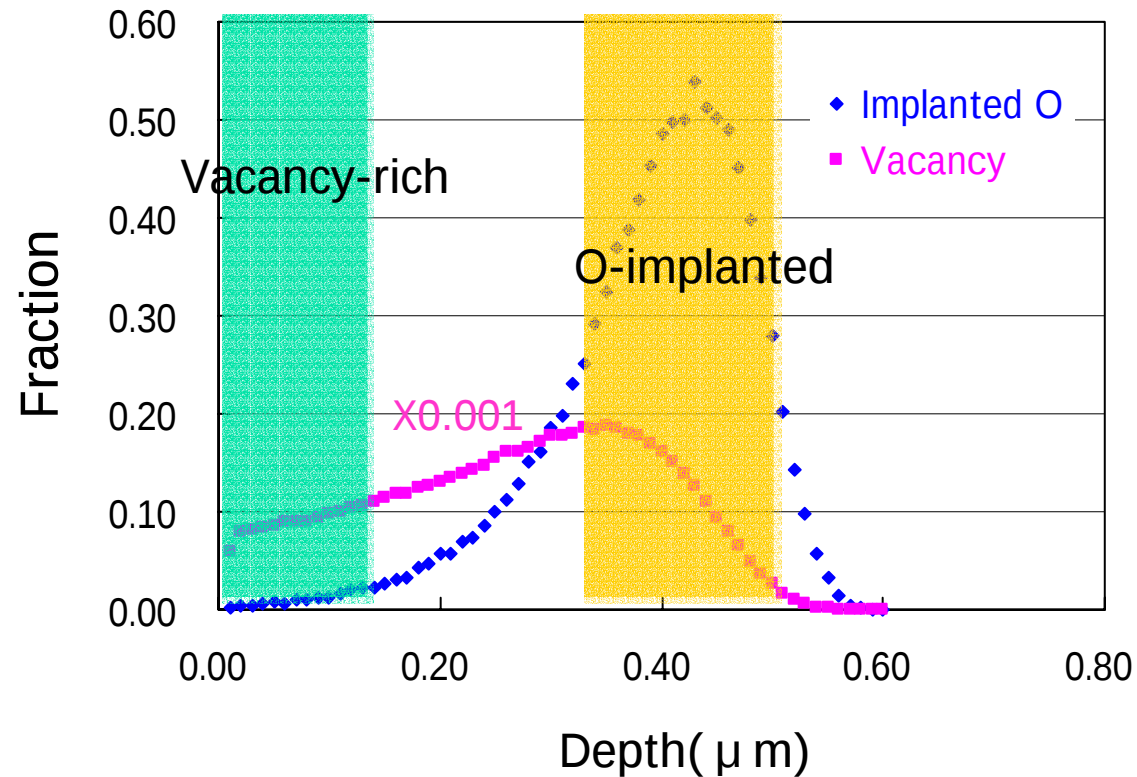
He拡散

He放出
サイズ増大

Si implanted with O^+ ($2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$, 180keV)

欠陥挙動の深さ依存性

TRIMによる計算



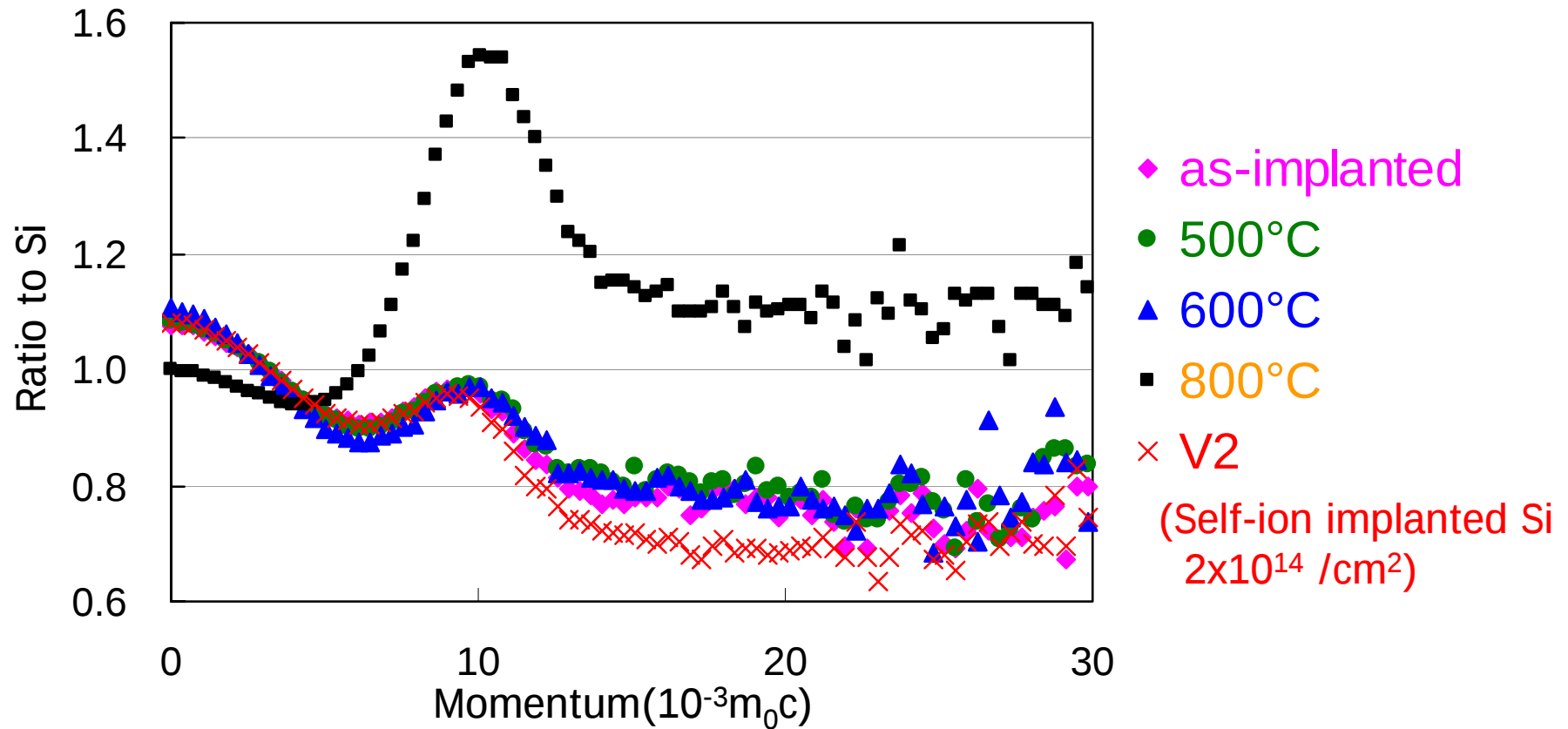


Virgin Si	220
As-implanted	294
600° C	330
800° C	322

Lifetime in Si	
Bulk	220 ps
V2	300 ps
V4	330 ps

Low S & long lifetime

CDB spectra at 2 keV for O+ implanted Si
Vacancy-rich region (< 100 nm)



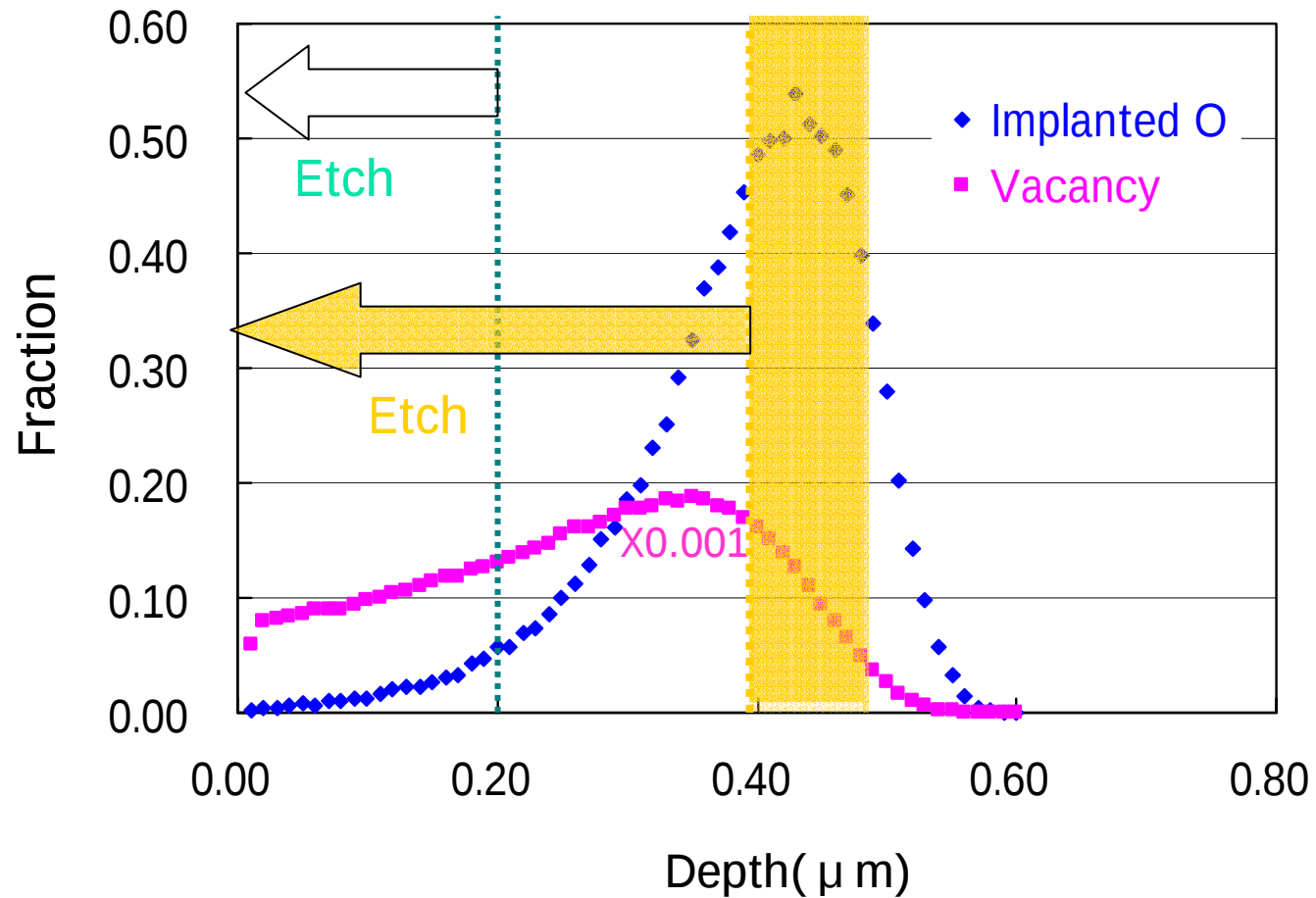
No change in high momentum region in CDB up to 600°C



Vacancy clusters

Si implanted with O^+ ($2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$, 180keV)

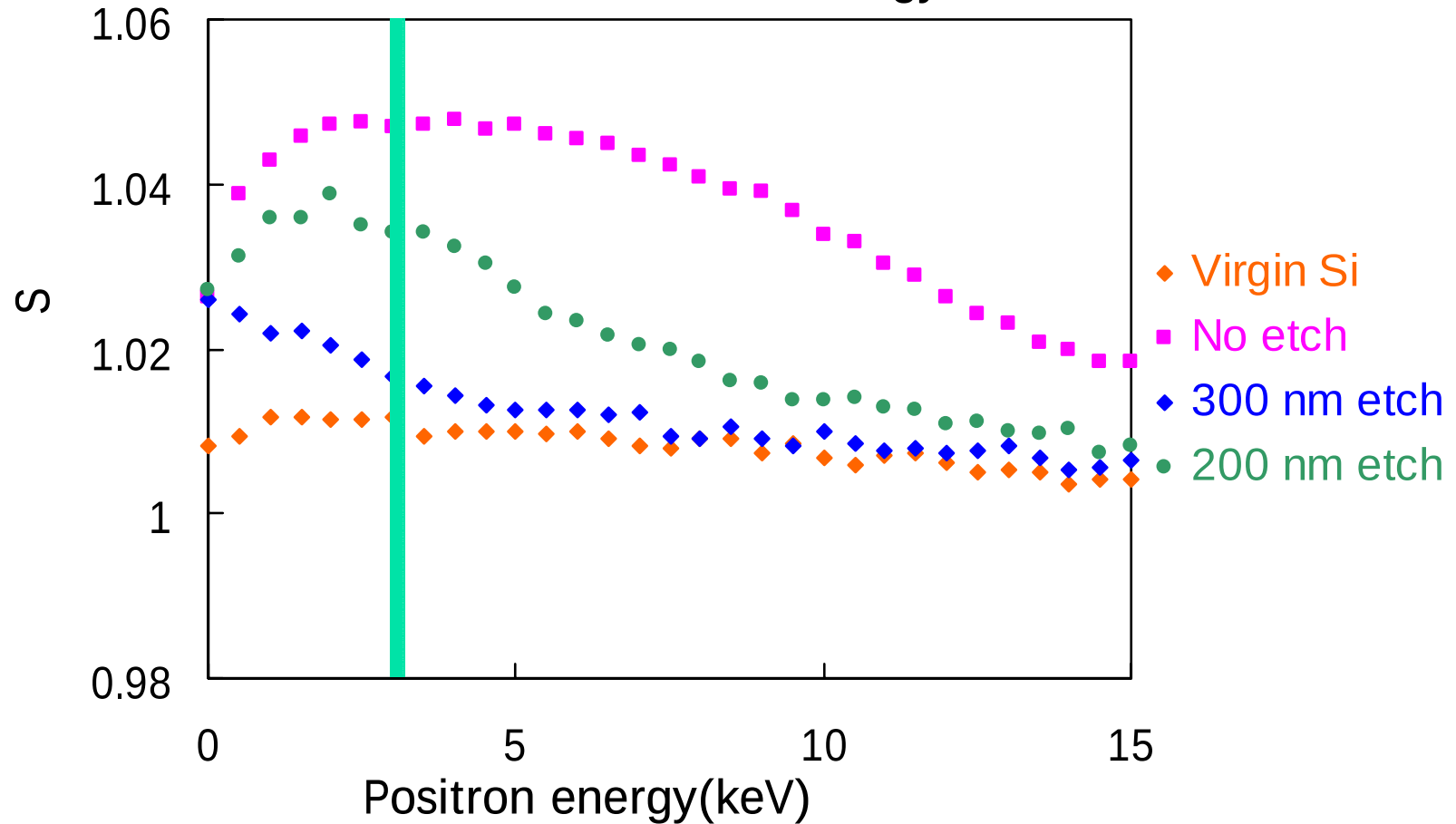
TRIMによる計算



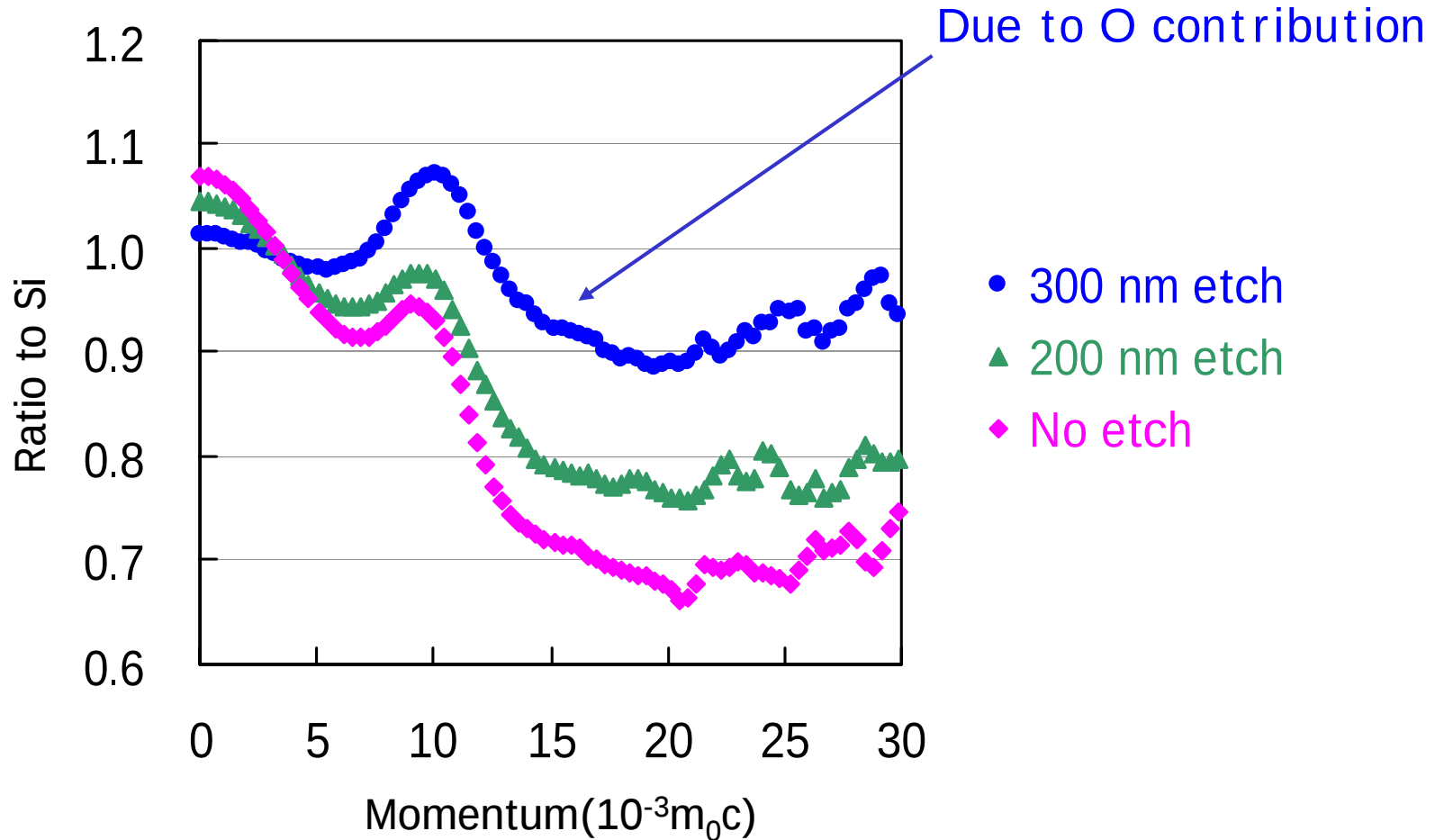
S-E plots for etched O⁺ implanted Si

As-implanted sample

CDB at 3 keV e⁺ energy

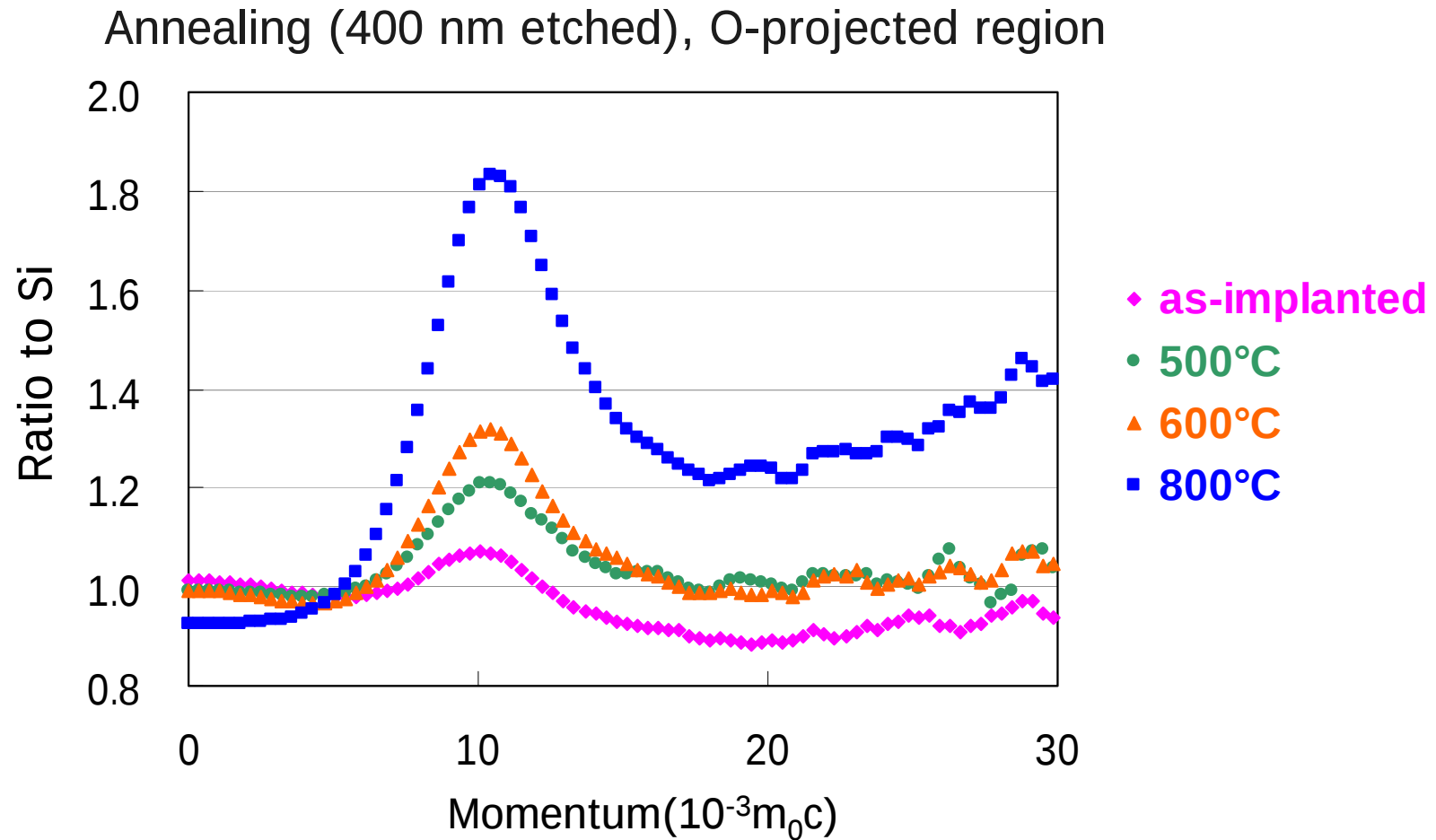


CDB spectra at 3 keV for etched O⁺ implanted Si



Evidence of formation of V-O defects in the as-implanted sample

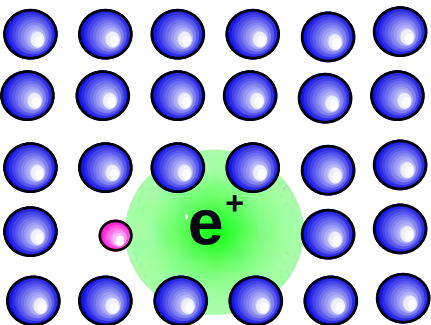
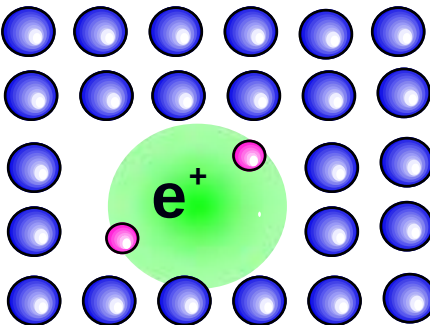
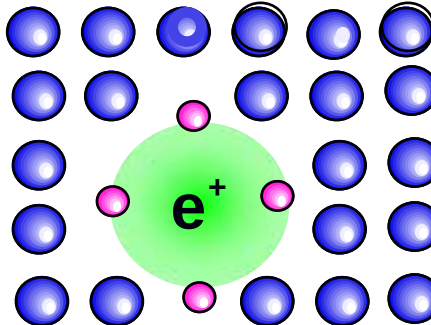
CDB spectra at 3 keV for the annealed O⁺ implanted Si



Increase of O contribution of V-O defects at the O-projected range

Structure of V-O defects in O-implanted Si

O-projected region

	As-implanted - 500°C	600°C	800°C	
Vacancy Size	294 ps = V_2	330 ps = V_4	322 ps = V_4	
	V_3O	V_6O_2	$V_{10}O_6$	
				

- 化学研磨とS-E測定、CDB測定、寿命測定の併用
100nmオーダーの層別解析が可能
表面近傍の欠陥支配領域と
注入領域の欠陥-不純物の共存領域の区分が可能
- He注入Si
欠陥のHeによる修飾、アニール挙動の観察
- B、P、O、H、Ar等を注入したSi
イオン種に依存した空孔複合体の形成