

EPMA基礎講座

日本電子株式会社

EPMA 外観



EPMA概要



EPMAとは



<u>試料より得られる信号</u>





定性分析



定量分析

ZAF Metal									
Element	Mass(%)	Atom(%)	K(%)	K-raw(%)	ZAF	Z	A	F	
Si	0.284	0.5641	0.156	0.156	1.8222	0.9001	2.0248	0.9998	
Fe	70.187	70.0223	68.565	68.565	1.0237	1.0008	1.0327	0.9904	
Cr	18.576	19.9043	21.196	21.196	0.8764	1.0048	1.0102	0.8634	
Mo	0.238	0.1384	0.187	0.187	1.2732	1.0781	1.1837	0.9977	
Cu	0.310	0.2716	0.277	0.277	1.1170	1.0293	1.0853	1.0000	
Ni	8.173	7.7570	7.491	7.491	1.0911	0.9820	1.1112	1.0000	
Ti	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	?
Mn	1.324	1.3423	1.300	1.300	1.0184	1.0215	1.0039	0.9931	

Total 99.092 100.0000 99.172 99.172 Iteration = 4

面分析(カラーマップ)



線分析



定性分析例 試料:ステンレス鋼



定量分析例 試料:SUS316

Unknown Specimen No. 3 : TEST Group Sample : SUS UNK No. 3 Comment : SUS316 Stage χ= 15.5165 Y= 40.9898 Ζ= 11.0875 Acc. Voltage : 20.0 (kV) Probe Dia. : 7 Scan: Off Dated on Jun 4 09:50 2003 WDS only No. of accumulation : 1 Curr.(A) : 2.002E-08 Element Peak(mm) Net(cps) Bg-Bg+ S.D.(%) D.L. (ppm) 1 Si 77.227 301.5 92.0 52.2 2.19 52 2 Fe 134.666 5774.3 25.4 18.4 243 0.42 3 Ni 138.2 115.424 3053.5 108.2 0.60 140 4 Mo 15.4 173.196 205.4 21.2 2.40 162 5 Cr 159.275 1272.2 8.6 10.8 0.89 217 6 Mn 146.311 304.9 71.6 58.8 2.16 124 ZAF Metal Element Mass(%) Atom(%) K(%) K-raw(%) ZAF Z Α. Si 0.774 1.5369 0.427 0.427 1.8111 0.8999 2.0134 0.9996 68.510 67.023 1.0004 68.4257 67.023 1.0222 1.0329 0.9892 Fe 9.310 2.217 17.540 Ni 8.8461 8.559 8.559 1.0878 0.9815 1.1083 1.0000 Mo 1.2888 1.742 1.742 1.2728 1.0778 1.1835 0.9978 18.8152 Cr 19.840 19.840 0.8841 1.0044 0.8683 1.0137 1.071 1.0211 Mn 1.0873 1.050 1.050 1.0199 1.0066 0.9924 99.422 00.0000 98.641 98.641 Iteration = 4 Tota 元素の濃度(質量濃度)が分かる

Solutions for Innovation JEOL

F

線分析例 試料:浸炭された鋼材



直線方向の元素の濃度が分かる

面分析 試料:鉱物



元素の濃度が色別で分けられ、一目で元素濃度分布が分かる

面分析 試料:窒化鋼



EPMA分析において、試料が備えるべき条件

1) 固体である

- 2) 真空中で収縮、変形しない
- 3) 電子線の照射に物理的、化学的に安定である
- 4) 導電性がある(またはコーティングで導電性を確保)
- 5) マウント可能な大きさである
- 6) 試料表面はできるだけ平滑で水平であること(特に定量分析)
- 7) 強い磁性をもつ材料は避ける

EPMAの原理











二次電子の発生量は入射角に依存するため、 表面の凹凸情報が得られる →表面形態の観察に有利



反射電子発生量と組成像



原子番号が高くなると反射電子の 発生率が高くなる →組成情報の観察に有利

電磁波の一覧









様々な特性X線の種類

臨界励起電圧表



通常、ある程度のX線強度が必要な場合、 臨界励起電圧の1.5~2倍以上の加速電圧が望ましい。

拡散領域



加速電圧と試料密度によって 大きく変化



試料密度と拡散領域



加速電圧15 kV一定で、元素(試料密度)が異なる場合

試料密度が大きいほど電子線の試料中での拡散領域は小さくなる

加速電圧と拡散領域

試料密度が一定で、加速電圧が異なる場合(AI)



加速電圧が高いほど、電子線の試料中での拡散領域は大きくなる











X線の発生領域



分析領域の算出ノモグラム

例) 試料:鉄鋼中のMn-Kα 加速電圧: 20 kV





装置概要



EPMAの装置概要

















PCD(Probe Current Detector)

照射電流(試料に照射される全電子線量)をモニターするために鏡筒に設けられたファラデーカップ



偏向(走査)コイルの働き

試料表面をスキャンして、走査像を表示する



X線分光器


X線分光器(WDS)



分光結晶



X線検出器 (WDS)



分光器概要















分光結晶の概要



主な分光結晶の種類と X線・エネルギー



分光結晶の面間隔(d値)

	LDE2	LDE1	TAP	PET	LIF
2d(nm)	約10	約 6	2.5757	0.8742	0.4027

分光結晶4~5枚で、(ほぼ)全元素範囲をカバー

分析において重要な注意点



ローランド円の集光条件から外れることによるX線強度の低下(Z方向)



光学顕微鏡(OM):ローランド円上に試料の分析表面の高さを合わせる



ローランド円の集光条件から外れることによるX線強度の低下(X方向)



WDSとEDSの比較



<u>WDS・EDSの特徴</u>

	WDS	EDS
全元素定性分析時間	約3分 (分光器構成・測定条件による)	約30秒 (測定条件による)
多元素同時分析	分光器の数	全元素
エネルギー分解能 (Mn-Kα)	約 10 eV	約 140 eV
P/B比	約 300~1000	約 100
検出限界	約 0.01 % (測定条件、元素による)	約 0.2 % (測定条件、元素による)
分析元素	₅B以上 ₄Be以上(要分光素子)	₄Be以上(UTW) ₁₁Na以上(Be Win.)



WDSとEDSの比較~定性分析~



<u>WDSとEDSの比較~定性分析~(硫化鉛 PbS)</u>



WDSとEDSの比較~カラーマップ~ WDS EDS 組成像 組成像 С С 30µm 30µm С С С С W W Y Y

WDSは感度・P/B比が良く、軽元素でも分布は明瞭であるutions for Innovation JEDL S

定性分析





一般的な加速電圧の設定

分析対象元素が....

軽元素(Z<10)の元素のみ ⇒ 10 kV



一般的な照射電流(プローブ電流)



間隔(Step)と測定時間(Dwell time)



<u> プローブスキャンOFF / ビーム径 について</u>



分光器条件について



分光結晶の特性



X線によっては複数の分光結晶で分光可能



分光結晶の特性





118.73 PET Ma

M線

132.54

128.82

125.23

原子番号により、測定X線を選択

(Z<30····K線, 31<Z<72····L線, Z>72····M線)

X線強度、分解能、P/B比を考慮して分光結晶を選択 80~200 mm (L値) 以内かそれに近いもの



90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu		
66.48	64.87	63.32	61.83		LIF L	a
132.54	128.82	125.23		118.73	PET M	1a

原子番号により、測定X線を選択 (Z<30····K線, 31<Z<72····L線, Z>72····M線)) X線強度、分解能、P/B比を考慮して分光結晶を選択 80~200 mm (L値) 以内かそれに近いもの L-value Table 3 Li 4 Be 26 Fe 2d(nm) 5 B 6 C 7 N 80 9 F 10 Ne LDE2(H) 10 191.27 * 124.49 88.48 66.14 LDE2 Ka 62.05 PET Ka Drive ran LDE1(H) 207.48 147.47 110.23 85.49 68.18 LDE1 Ka XCE, TX TAP(H) 2.5757 256.77 199.15 158.82 ΤΑΡ Κα 134.72 LIF Kα Н PET(H) 0.8742 11 Na 12 Mg FCS LIF(H) 0.40267 13 A 14 Si 15 P 16 S 17 CI 18 Ar TAP 191.22 La TAP Ka 129.47 107.51 90.66 77.47 66.94 TAP Ka 228.25 197.24 172.10 151.46 134.29 PET Ka LDE2 La 19 K 20 Ca 21 Sc 22 Ti 23 V 24 Cr 25 Mn 26 Fe 27 Co 28 Ni 29 Cu 30 Zn 31 Ga 32 Ge 33 As 34 Se 35 Br 36 Kr ΡΕΤ Κα 119.87 107.60 97.11 88.07 80.23 73.38 67.36 62.05 ΡΕΤ Κα LIF Ka 233.60 210.83 191.20 174.18 159.31 146.24 134.72 124.49 115.37 107.21 99.88 93.27 87.29 81.86 76.91 72.39 68.24 LIF Ka TAP La 235.79 211.76 191.22 173.63 158.29 144.97 133.21 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 84.98 TAP La LDE2 La LDE2 La 101.72 87.78 76.78 67.90 37 Rb 39 Y 42 Mo 44 Ru 45 Rh 51 Sb 52 Te 38 Sr 40 Zr 41 Nb 43 Tc 46 Pd 53 I 54 Xe 78 Pt LIF Ka 209.76 64.45 60.96 239.16 228.72 218.94 LIF La 234.40 147.25 139.89 PET La 219.81 206.55 194.43 183.35 173.17 163.82 155.21 110.16 105.35 100.85 96.62 PET La 91.30 LIF La TAP La 79.56 74.60 70.10 65.99 62.23 TAP La PET La 83 Bi 55 Cs 56 Ba 57 La 72 Hf 73 Ta 74 W 76 Os 78 Pt 84 Po 85 At 75 Re 77 Ir 86 Rn LIF La 185.36 109.14 105.83 102.66 99.64 96.74 93.96 91.30 79.54 77.45 75.45 LIF La 201.13 193.03 73.52 65.74 TAP Mα PET La 88.91 PET La 92.64 85.38 TAP $M\alpha$ TAP Ma 162.95 81.96 78.84 75.91 73.15 70.55 68.07 65.74 193.68 PFT Ma. PET Ma 241.47 232.28 223.66 215.53 207.87 200.57 193.68 163.93 PET Ma 87 Fr 88 Ra 89 Ac LIF La 59 Pr 65 Tb 68.14 64 Gd 66 Dy 67 Ho 69 Tm 71.66 69.86 58 Ce 60 Nd 61 Pm 62 Sm 63 Eu 68 Er 70 Yb 71 Lu 178.12 171.27 164.83 158.69 152.96 147.48 142.33 137.44 132.73 128.29 124.07 120.07 116.26 112.61 LIF La 73.10 PET La 82.04 78.89 75.92 70.46 67.93 65 56 63.31 61 14 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Ma 251.11 PET Ma

	94 Pu	93 Np	92 U	91 Pa	90 Th
LIF La		61.83	63.32	64.87	66.48
PET Ma	118.73		125.23	128.82	132.54

原子番号により、測定X線を選択 (Z<30····K線, 31<Z<72····L線, Z>72····M線)) X線強度、分解能、P/B比を考慮して分光結晶を選択 80~200 mm (L値) 以内かそれに近いもの L-value Table 3 Li 4 Be 2d (n m) 5 B 6 C 7 N 80 9 F 10 Ne 22 Ti LDE2 Ka LDE2(H) 191.27 × 124.49 88.48 10 66.14 PET Ka X線強度重視 LDE1(H) 6 207.48 147.47 110.23 85.49 6818 LDE1 Ka 88.07 TAP(H) 2.5757 256.77 199.15 158.82 ΤΑΡ Κα Kα 191.20 分解能重視 LIF PET(H) 0.8742 11 Na 12 Mg LIF(H) 0.40267 13 A 17 CI 14 Si 15 P 16 S 18 Ar TAP La TAP Ka 129.47 107.51 90.66 77.47 66.94 TAP Ka 228.25 197.24 172.10 151.46 134.29 PET Ka 76.78 LDE2 La 19 K 20 Ca 21 Sc 22 Ti 23 V 24 Cr 25 Mn 26 Fe 27 Co 28 Ni 29 Cu 30 Zn 31 Ga 32 Ge 33 As 34 Se 35 Br 36 Kr ΡΕΤ Κα 119.87 107.60 97.11 88.07 80.23 73.38 67.36 62.05 ΡΕΤ Κα LIF Ka 233.60 210.83 191.20 174.18 159.31 146.24 134.72 124.49 115.37 107.21 99.88 93.27 87.29 81.86 76.91 72.39 68.24 LIF Ka TAP La 84.98 TAP La 235.79 211.76 191.22 173.63 158.29 144.97 133.21 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 LDE2 La 101.72 87.78 76.78 67.90 LDE2 La 37 Rb 38 Sr 39 Y 40 Zr 41 Nb 42 Mo 43 Tc 44 Ru 45 Rh 46 Pd 47 Ag 48 Cd 49 In 50 Sn 51 Sb 52 Te 53 I 54 Xe LIF Ka 64.45 60.96 250.32 239.16 228.72 218.94 209.76 LIF La PET La 234.40 219.81 206.55 194.43 183.35 173.17 163.82 155.21 147.25 139.89 133.06 126.72 120.81 115.30 110.16 105.35 100.85 96.62 PET La TAP La 79.56 74.60 70.10 65.99 62.23 TAP La 55 Cs 56 Ba 57 La 72 Hf 73 Ta 74 W 75 Re 76 Os 77 Ir 78 Pt 79 Au 80 Hg 81 TI 82 Pb 83 Bi 84 Po 85 At 86 Rn LIF La 201.13 193.03 185.36 109.14 105.83 102.66 99.64 96.74 93.96 91.30 88.76 86.31 83.96 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF La PET La 92.64 88.91 85.38 PET La TAP Ma 162.95 TAP $M\alpha$ 81.96 78.84 75.91 73.15 70.55 68.07 65.74 63.49 61.39 PET $M\alpha$ 241.47 232.28 223.66 215.53 207.87 200.57 193.68 187.05 180.89 174.88 169.31 163.93 PET $M\alpha$ 87 Fr 88 Ra 89 Ac LIF La 71.66 69.86 68.14 58 Ce 59 Pr 60 Nd 61 Pm 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu 178.12 171.27 164.83 158.69 152.96 147.48 142.33 137.44 132.73 128.29 124.07 120.07 116.26 112.61 LIF La PET La 82.04 78.89 75.92 73.10 70.46 67.93 65.56 63.31 61.14 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP $M\alpha$ 251.11 PET Ma

90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	
66.48	64.87	63.32	61.83	200000000000000000000000000000000000000	LIF La
132.54	128.82	125.23		118.73	PET Ma
1 1					

原子番号により、測定X線を選択 (Z<30···K線, 31<Z<72···L線, Z>72···M線) X線強度、分解能、P/B比を考慮して分光結晶を選択

80~200 mm (L値) 以内かそれに近いもの

L-value Table

3 Li 4 Be 20 mm/L 20 mm/L 20 mm/L 3 B 0 C 0 7 M 0 U 9 F 10 Me 10 LE2 Ka 11 11 12 Ma 12 Ma 11 Ma 12 Ma 10 Ma<	3	0.1.1										01()		5.0		7.11		0.5	10.11	
Image: Drive range (Approximately) XCE, TXE Drive range (Appr		3 LI	4 Be									20 vn m/	8	101.07	DU	/ N	80	91	IU Ne	
Image of the indice or particular binds of partitis particular binds of particular binds of partity particular bin	1 1			F	Duine venae	(Annexes in a	talu)					10		191.27	* 124.49	147 47	110.00	05 40	6010	LDEZ KA
TAP Kα; 11 No 12 Mg X = 0 - 20 mm N = 0 - 20 mm 20 r = 1 -	1 1					• 60~2	60mm					2 5 7 5 7			207.40	147.47	256 77	100.49	150.00	TAP KA
Image: TAP Kar 12 Mg FCS : 71~260mm IF(H) 0.40267 13 A 14 Si 15 P 16 S 17 CI 18 A TAF Kar TAP Kar 129 47 107.51 19 K 20 Ca 21 Sc 22 Ti 23 V 24 Cr 25 Mn 26 Fe 27 Co 28 Ni 29 Cu 30 Zn 31 Ga 32 Ge 33 As 34 Sa 36 Sa 77 A7 66.94 17 CI 18 Ar 14 Si 15 PT 16 S 17 CI 18 Ar 14 Si 15 PT 16 Sa 17 CI 18 Ar 14 Si 15 PT 16 Sa 17 CI 18 Ar 14 Si 15 PT 16 Sa 17 CI 18 Ar 14 Si 15 PT 16 Sa 17 CI 18 Ar 14 Si 15 PT 16 Sa 17 CI 18 Ar 14 Si 15 PT 16 Sa 16 Sa 16 Sa 16 Sa 16 Sa 16 Sa 18 Ar 18 Sa					H	: 87~2	40mm			1	PET(H)	0.8742					200.77	199.10	100.02	
TAP Kα 129.47 107.51 90.66 77.47 66.94 172.10 151.46 134.29 TAP Kα PET Kα 19.K 20.Ge 21 Sc 22 Ti 23 V 24 Cr 25 Mn 26 Fe 27 Co 28 Ni 29 Cu 30 Zn 31 Ga 32 Ge 33 As 34 Se 35 Br 36 Kr PET Kα LIF Kα 119.87 107.60 97.11 88.07 80.23 73.38 67.36 62.05 134.72 124.49 115.37 107.21 99.86 93.27 87.29 91.86 76.91 72.39 68.24 LIF Kα 101.72 87.78 76.78 67.90 235.79 134.72 174.81 153.91 146.24 134.72 173.83 156.29 144.97 132.1 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 84.98 1F Ka LDE2 Lax 101.72 87.81 39.54 14 14 84 45 Rb 46 Pd 47 Ac 48 Gd 49 In 50 Sn 51 Sb 52 Te 53 I 54 Xe 10EZ 12E		11 Na	12 Mg		FCS	: 71~2	60mm				LIF(H)	0.40267		13 A	14 Si	15 P	16 S	17 CI	18 Ar	
19 K 20 Co 21 Sc 22 Ti 23 V 24 Cr 25 Mn 26 Fe 27 Co 28 Ni 29 Cu 30 Zn 31 Ge 32 Ge 33 As 34 Se 35 Br 36 Kr PET Kα 119.87 20.06 21 Sc 22 Ti 23 V 24 Cr 25 Mn 26 Fe 27 Co 28 Ni 29 Cu 30 Zn 31 Ge 32 Ge 33 As 34 Se 35 Br 36 Kr LIF Kα 19.87 23.60 210.83 191.20 174.18 159.79 211.66 191.22 173.83 158.29 144.97 133.21 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 84.94 14P Lα 14P Lα 158.29 144.97 133.21 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 84.94 14P Lα 122.75 115.90 100.18 96.62 14P Lα 158.29 144.97 133.21 122.76 135.85 52 Te 53 I 54 Xe 12E Lα 12E Lα 110.26 100.16 105.95 100.86 96.62 14P Lα 110.2.66 LIF LG 110.26 <td>TAP Ka</td> <td>129.47</td> <td>107.51</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>(C) -</td> <td></td> <td>8</td> <td>R S</td> <td>90.66</td> <td>77.47</td> <td>66.94</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>TAP Ka</td>	TAP Ka	129.47	107.51	10			1			(C) -		8	R S	90.66	77.47	66.94				TAP Ka
Image: Normal base in the image: Norm															228.25	197.24	172.10	151.46	134.29	PET Ka
Image: Normal base in the image: Normal base in the image in the image. The image in the i																				
PET Ka 20 Ca 21 Se 22 Ci 28 Ni 29 Cu 31 Ga 32 Ge 33 As 34 Se 36 Bit 36 Si Si <t< td=""><td></td><td></td><td></td><td>~ ~ ~</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>				~ ~ ~																
PET Kaz 119.87 101.60 97.11 88.07 80.23 73.88 67.36 65.26.05 124.49 115.37 107.21 99.88 93.27 87.29 81.86 76.91 72.39 66.24 LF Kaz TAP La 101.72 87.78 67.90 223.60 210.83 191.20 174.18 153.47 124.49 115.37 107.21 99.88 93.27 87.29 81.86 76.91 72.39 66.24 LF Kaz TAP La LDE2 La 101.72 87.78 67.90 72.39 66.24 LF Kaz 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 84.98 LDE2 La LIF Kaz 64.45 60.96 74.60 70.10 65.99 62.23 173.17 74 W 102.66 LIF La 250.32 239.16 228.72 218.94 209.76 PET La TAP La 201.13 193.03 185.36 109.14 105.83 102.66 LIF La PET La 81.71 77.45 77.45 77.45 77.45 77.45 77.45 77.45 77.	DET K	19 K	20 Ca	21 Sc	22 11	23 V	24 Gr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	DET K
LIF K& 233.00 210.83 191.20 174.18 169.31 144.24 164.24 163.31 101.21 99.88 93.21 87.29 81.86 105.13 97.73 91.04 84.98 LIF K& 101.72 87.78 76.78 67.90 67.90 191.22 173.63 158.29 144.97 133.21 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 84.98 LIF K& 64.45 60.96	PET Ka	119.87	107.60	97.11	101.00	80.23	173.38	57.35	62.05	101.10	115.07	107.01	00.00	00.07	07.00	01.00	70.01	70.00	co.o.4	PET Ka
IAP La 101.72 101.72 107.78 76.78 67.90 233.79 211.76 191.22 173.63 158.29 144.97 133.21 122.75 113.45 105.13 97.73 91.04 84.98 ILP La LIP La LDE2 Lac 37 Rb 38 Sr 39 Y 40 Zr 41 Nb 42 Mo 43 Tc 44 Ru 45 Rb 46 Pd 47 Ac 48 Cd 49 In 50 Sn 51 Sb 52 Te 53 I 54 Xe LIF 234.40 219.81 206.55 194.43 183.35 173.17 74 W 1102.66 LIF Lac 115.30 110.16 105.35 100.85 96.62 PET La 115.30 110.16 105.35 100.85 96.62 PET La 1102.66 LIF La 115.30 110.16 105.35 100.85 96.62 PET La 102.66 LIF La 102.66 LIF La 1102.66 LIF La 115.30 110.16 105.35 100.85 96.62 PET La PET La 102.66 Ra <td></td> <td></td> <td>233.00</td> <td>210.83</td> <td>191.20</td> <td>174.18</td> <td>159.31</td> <td>140.24</td> <td>134.72</td> <td>124.49</td> <td>110.37</td> <td>107.21</td> <td>99.88</td> <td>93.27</td> <td>87.29</td> <td>81.80</td> <td>70.91</td> <td>12.39</td> <td>08.24</td> <td>LIF KO</td>			233.00	210.83	191.20	174.18	159.31	140.24	134.72	124.49	110.37	107.21	99.88	93.27	87.29	81.80	70.91	12.39	08.24	LIF KO
Libz Lib St. 8 St. 8 Other Signed for the state sta	IAP La		101 70	07.70	76.70	67.00	235.79	211.70	191.22	173.03	158.29	144.97	133.21	122.75	113.45	105.13	97.73	91.04	84.98	I AP La
11F Ka 38 Sr 39 T 40 Zr 41 No 42 No 43 IC 44 Rul 45 Rn 46 Pa 47 Ag 48 Cal 49 In 50 Sn 50 Sn 50 Z Ig 53 In 54 Xe 54 Xe LIF Ka 234.40 219.81 206.55 194.43 183.35 173.17 74 W 102.66 LIF La 250.32 239.16 228.72 218.94 209.76 100.85 96.62 100.85 96.62 115.30 110.16 105.35 100.85 96.62 FT La 201.13 193.03 185.36 109.14 105.83 102.66 LIF La PET La 82 Pb 83 Bi 84 Po 85 At 86 Rn FT LIF La LIF La 201.13 193.03 185.36 109.14 105.83 102.66 LIF La PET La 81.71 77.4 W Rd Xâgâgê file 81.71 77.45 75.45 73.52 LIF La PET La 92.64 88.91 82.95 81.96 75.91 <td>LUEZ LA</td> <td>07.01</td> <td>101.72</td> <td>87.78 00 M</td> <td>10.18</td> <td>07.90</td> <td>40.14</td> <td>40 T-</td> <td>11 D.</td> <td>15.01</td> <td>40.04</td> <td>17.0-</td> <td>10.01</td> <td>40 T-</td> <td>50.0-</td> <td>E1 CL</td> <td>50 T-</td> <td></td> <td>E4 Ma</td> <td>LDEZ LA</td>	LUEZ LA	07.01	101.72	87.78 00 M	10.18	07.90	40.14	40 T-	11 D.	15.01	40.04	17.0-	10.01	40 T-	50.0-	E1 CL	50 T-		E4 Ma	LDEZ LA
LIF La 03.80 00.90 200.30 <		37 FOD	38 Sr	39 T	40 Z r	41 ND	42 MO	43 IC	44 RU	40 KM	40 P a	4/ Mg	48 U O	49 IN	00 SN	01 50	02 10	03 1	04 AC	
ref La 234.40 219.61 200.35 194.43 163.35 173.17 74 w 1102.66 LIF La 1103.3 110.16 103.35 100.85 96.82 FET La 102.66 109.14 105.83 109.14 105.83 102.66 LIF La 82 Pb 83 Bi 84 Po 85 At 86 Rn 111 1102.66 LIF La 100.16 103.35 100.165 96.82 96.82 96.82 96.82 96.82 96.82 96.82 96.82 96.82 96.80 96.82 96.80 96.82 <t< td=""><td></td><td>04.40</td><td>00.90</td><td>206 55</td><td>104.40</td><td>100.05</td><td>17017</td><td>1</td><td>74.11</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>200.32</td><td>239.10</td><td>105.05</td><td>210.94</td><td>209.70</td><td></td></t<>		04.40	00.90	206 55	104.40	100.05	17017	1	74.11	1					200.32	239.10	105.05	210.94	209.70	
Inff La 73.00 74.00 70.10 0.0.39 0.2.3 Inff La 55 Cs 56 Ba 57 La 72 Hf 73 Ta 74 W PET PET A 88 Pb 83 Bi 84 Po 85 At 86 Rn E LIF La 201.13 193.03 185.36 109.14 105.83 102.66 LIF La 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF La PET La 201.13 193.03 185.36 109.14 105.83 102.66 PET La 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 PET La PET Ma 162.95 81.96 78.84 75.91 TAP Ma X線強度重視 169.31 163.93 IIF La PET Ma 178.12 171.27 164.83 158.69 152.96 147.48 142.33 137.44 132.73 128.29 124.07 120.07 116.26 112.61 PET Ma LIF La 153.49 145.70 138.46 12	TAP La	234.40	219.01	200.00	194.43	60.00	173.17	5	/4 🗰						115.30	110.10	100.30	100.85	90.02	TAP La
55 Cs 56 Ba 57 La 72 Hf 73 Ta 74 W PT LIF LQ2 83 Bi 84 Po 85 At 86 Rn PET LQ LIF La 201.13 193.03 185.36 109.14 105.83 102.66 PET LQ 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF LA PET LA 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF LA PET LA 169.31 169.31 169.33 169.31 169.31 169.33 169.31 169.33 169.31 169.31 169.31 169.31	IMP LG	79.00	74.00	70.10	00.99	02.23		< - 84	0266		1									I'MP LG
LIF La 2013 19303 18538 109.14 105.83 102.64 PET La 92.64 88.91 85.38 109.14 105.83 102.64 PET La 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF La PET La 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF La PET La 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF La PET La 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF La PET La 81.71 79.54 77.45 75.45 73.52 LIF La PET Ma X線強度重視 169.31 163.93 LIF La PET Ma PET Ma PET Ma 169.31 163.93 LIF La PET Ma 169.31 163.93 LIF La PET Ma PET Ma 169.31 163.93 LIF La		55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	- 84	02.00		La	4.			82 Ph	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	(d)
PET La 92.64 88.91 85.38 81.96 75.91 TAP Ma X線強度重視 TAP Ma 241.47 232.28 223.66 PET Ma 分解能重視 LIF La 71.66 69.86 68.14 58 Ce 59 Pr 11F 128.24 78.84 75.91 144.83 158.69 75.92 73.10 70.46 67.93 65.56 63.31 61.14 182.91 120.07 116.26 112.61 LiF La 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Ma	LIE La	201 13	193.03	185.36	10914	105.83	102.66	1		PET	10	2			81 71	79.54	77.45	75 45	73.52	LIE LO.
ТАР Ма РЕТ Ма 162.95 81.96 78.84 75.91 TAP Ma X線強度重視 169.31 163.93 ТАР Ма РЕТ Ма 87 Fr 88 Ra 89 Ac 223.66 PET Ma 分解能重視 169.31 163.93 163.93 TAP Ma PET Ma LIF 1/6 69.86 68.14 58 Ce 59 Pr 164.83 158.69 152.96 147.48 142.33 137.44 132.73 128.29 124.07 120.07 116.26 112.61 PET Ma 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 251.11 PET Ma	PET La	92.64	88.91	85.38						11.01	LUC	S								PET La
PET Ma 241.47 232.28 223.66 PET Ma All Constrained and an and an and and and and and and	TAP Ma			162.95	81.96	78.84	75.91		75 91	I TAP	MO	↓ V純	法由重	2目						TAP Ma
87 Fr 88 Ra 89 Ac 223.66 PET M 次 分解能重視 LIF La 71.66 69.86 68.14 58 Ce 59 Pr 223.66 PET M 次 分解能重視 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu LIF La 71.66 69.86 68.14 58 Ce 59 Pr 152.96 147.48 142.33 137.44 132.73 128.29 124.07 120.07 116.26 112.61 LIF La 82.04 78.89 75.92 73.10 70.46 67.93 65.56 63.31 61.14 09.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAT Ma 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 251.11 PET Ma	PET Ma				241.47	232.28	223.66		10.01	1	14104		压反主	170	169.31	163.93				PET Ma
LIF La 71.66 69.86 68.14 58 Ce 59 Pr 64.83 158.69 152.96 147.48 142.33 137.44 132.73 128.29 124.07 120.07 116.26 112.61 LIF La 92.04 78.89 75.92 73.10 70.46 67.93 65.56 63.31 61.14 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Ma 251.11 PET La 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Ma		87 Fr	88 Ra	89 Ac				1 3	223.66	I PFT	MO	分角	産能重れ	륐			2		0.5	(a)
178.12 171.27 164.83 158.69 152.96 147.48 142.33 137.44 132.73 128.29 124.07 120.07 116.26 112.61 LIF La 82.04 78.89 75.92 73.10 70.46 67.93 65.56 63.31 61.14 PET La 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Ma 251.11 PET Ma 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Ma	LIF La	71.66	69.86	68.14	- F	58 Ce	59 Pr								67 Ho	68 Er	69 T m	70 Yb	71 Lu	
82.04 78.99 75.92 73.10 70.46 67.93 65.56 63.31 61.14 PET Lα 153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Mα 251.11 PET Mα 251.11 PET Mα						178.12	171.27	164.83	158.69	152.96	147.48	142.33	137.44	132.73	128.29	124.07	120.07	116.26	112.61	LIF La
153.49 145.70 138.46 125.68 119.98 114.44 108.20 103.64 99.40 95.46 91.76 88.59 85.23 TAP Μα 251.11 PET Μα						82.04	78.89	75.92	73.10	70.46	67.93	65.56	63.31	61.14						PET La
251.11 PET Μα						153.49	145.70	138.46		125.68	119.98	114.44	108.20	103.64	99.40	95.46	91.76	88.59	85.23	TAP Ma
		35	(C)																251.11	PET Ma

90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu		
66.48	64.87	63.32	61.83		LIF	Lα
132.54	128.82	125.23		118.73	PET	Mα



XCE型・H型・L型分光器について

L型:XCE型よりX線強度が大きく、H型よりも分解能が良い

面分析(カラーマップ)



ステージスキャンとビームスキャン


ステージスキャンとビームスキャン





ステージスキャンとビームスキャン

一般的には、

(ビームスキャンによる強度低下を避けるために)

×3000以上:ビームスキャン

×3000未満:ステージスキャン

特に、TAPの低角側の元素(Si Kα, Al Kα, W Mα etc···) には注意する



分析領域の設定方法



ステージスキャンの基本(分析領域/測定時間)



分析対象物の大きさや、分析目的に応じて ピクセルサイズ、ピクセル数を選択する事が重要

ピクセル数によるマップの変化(硫化鉱物)

160×115(18 min) 320×230(60 min) 640×460(170 min) ピクセルサイズ 2 μm ピクセルサイズ 1 μm ピクセルサイズ 0.5 μm



加速電圧 15 kV 照射電流 100 nA 測定時間 30 ms/pixels

ピクセル数によるマップの変化(硫化鉱物)



加速電圧 15 kV 照射電流 100 nA 測定時間 30 ms/pixels

ピクセル数によるマップの変化(硫化鉱物)



ステージスキャンの分析領域の設定



分析したい領域の大きさを ピクセル数(X,Y) とピクセルサイズ(μm)で指定

ステージスキャンの分析領域の設定



ステージスキャンマップの結果 (腐食試料)



ビームスキャンの分析領域の設定

分析領域=倍率指定

例 Mag × 10,000 256 × 256



ピクセルサイズは自動計算

分析したい領域の倍率で分析領域を指定 ピクセル数(X,Y)は、任意の数字を入力 (一般的には、X:256-300)



照射電流/測定時間によるマップの変化



照射電流とプローブ径 (Wフィラメント)



加速電圧 15 kV ピクセル数 256 × 256



カラーマップの一般的な照射電流(プローブ電流)



ピクセルサイズとビーム径(例 鉱物中のFe)



カラーマップの測定条件(一般的な条件の目安)

	考慮すべき点	目安
ピクセルサイズ	分析したい対象物の大きさ	分析範囲/ピクセル数
(μm) (X、Y)	(介在物、合金層、粒径等)	(通常XとYは同じにする)
ピクセル数(点)	解像度、測定時間	X、Y方向 200~400 程度
(X,Y)		256(ビームスキャン)
測定時間(ms)	測定時間、検出感度	5~50ms
(1点あたり)	試料ダメージ	
照射電流	検出感度、試料ダメージ	10 ^{- 6} ~ 10 ^{- 9} A
(A)	プローブの太さ、	
	X線強度(20万cps以下)	
ビーム径	ピクセルサイズ	ピクセルサイズと同じかそれ以下
(µm)	試料ダメージ	(数µm程度では、0µm(Focus)に
		する場合が多い)
		ビームスキャンでは勿論0µm

ご清聴ありがとうございました



<u>SEM/EPMA 他X線検出器との比較</u>

