

Tech-Notes

Using Microstructural Analysis to Solve Practical Problem

EBSD样品制备

Written by:

George Vander Voort (Buehler Ltd)



摘要：背散射电子衍射装置(EBSD)是扫描电子显微镜(SEM)的附件之一，它能提供如：晶间取向研究、相辨别和晶粒尺寸测量等完整的分析数据。在很短的时间就可以获得衍射花样，延长扫描时间可以提高衍射花样的质量，而获得晶粒取向分布图则需要非常长的扫描时间，它需要获得视场上的每个像素点的衍射花样。衍射花样质量的高低，取决于在样品制备过程中，晶体晶格上的损伤去除的情况和衍射花样标定指数可信度的影响。

背散射电子衍射装置(EBSD)是扫描电子显微镜(SEM)的附件之一，它能提供如：晶间取向研究、相辨别和晶粒尺寸测量等完整的分析数据。在很短的时间就可以获得衍射花样，延长扫描时间可以提高衍射花样的质量，而获得晶粒取向分布图则需要非常长的扫描时间，它需要获得视场上的每个像素点的衍射花样。衍射花样质量的高低，取决于在样品制备过程中，晶体晶格上的损伤去除的情况和衍射花样标定指数可信度的影响。在过去大家一直认为只有通过电解抛光和离子束抛光的方法才能获得没有损伤层的样品。但是，现代的机械抛光的方法，使用抛光机和正确的抛光耗材也可以得到高质量的EBSD样品，同时也避免了电解抛光和离子束抛光的局限性，以及电解抛光时使用电解液的危险性。通常如果使用机械抛光方法，对于非立方晶系的金属或合金（如：Sb, Be, Hf, α -Ti, Zn, Zr）只要在光学显微镜的偏振光下评判其的图像质量，对于立方晶系和非立方晶系都可以采用彩色腐蚀的方法来确定样品表面是否还存在残余损伤层，是否能够获得高质量的EBSD花样。这是由于当样品与电子束呈锐角（70 - 74°）时，可以获得最佳质量的EBSD花样。

偏振光下图像的质量取决于样品表面本身的损伤层去除情况

和显微镜的光学质量。因此，在进行EBSD检测之前总是使用偏振光来验证样品制备的情况。对于立方晶系的金属，首先使用普通的侵蚀剂确认显微组织。然后重复最后一道抛光步骤并使用彩色腐蚀方法来确定是否还有损伤层存在。要想得到最好EBSD花样，其样品必须是抛光后未经侵蚀的样品，这是由于电子束与样品较大的夹角，而且侵蚀后样品表面的不平整会大大降低EBSD花样的质量。一个制备优良的、未经侵蚀的样品，通过EBSD装置可以得到一幅晶粒对比强烈的图像。试验结果好坏取决于样品表面损伤层去除情况。

样品制备方法的研究：

金属及合金样品制备方法已经比较成熟，使用这些方法可以得到很好的效果，通常这样的制备方法只需要在25分钟之内完成样品制备。纯金属样品制备时间比合金往往要长一点。通常推荐使用自动磨抛机，这样可以提高样品制备过程的精确性和可重复性。手工样品制备方法不像自动磨抛机，能够保证样品的平整、合金中有些相的保留和损伤层的去除，而且制备过程可重复性差。为了使得损伤层最小需要选用适当的切割机和耗材，这是样品制备成功的前提。切割是个非常剧烈的过程，所以会在样品的切割表面产生很大的损伤层。

Table 1. Preparation Method for High-Purity Aluminum

Surface	Abrasive Size	Load Lb (N)	Platen Speed/Direction	Time (min.)
CarbiMet® Discs	240-grit (P280) SiC water cooled	5 (22)	240 rpm Contra	1 per sheet
UltraPol™ Silk Polishing Cloth	9- μ m MetaDi® Diamond Suspensions*	5 (22)	150 rpm Contra	5
TriDent™ Polyester Polishing Cloth	3- μ m MetaDi® Diamond Suspensions*	5 (22)	150 rpm Contra	5
TriDent™ Polyester Polishing Cloth	1- μ m MetaDi® Diamond Suspensions*	5 (22)	150 rpm Contra	3
MicroCloth® Polishing Cloth	0.05- μ m MasterMet® Colloidal Silica Suspension	5 (22)	150 rpm Contra	3
MicroCloth® Polishing Cloth	0.05- μ m MasterMet® Colloidal Silica Suspension	-	VibroMet® 2 Vibratory Polisher	≥20

* Add MetaDi® Fluid lubricant (charge with paste and MetaDi® Fluid, then add MetaDi® Supreme Suspension during the cycle)

晶体结构对于损伤层深度有一定的影响；FCC晶体结构的金属比BCC晶体结构的金属产生的损伤层要大许多。这是由于FCC的金属比BCC金属更容易滑动。建议根据金属材料的不同使用相应的金相专用的砂轮片，精密切割机切割时产生的损伤层较小，尽量使用超薄的切割片和较小的切割力。切割过程所使用的切割机、切割片和切割参数决定的损伤层的深浅，要想获得没有损伤的金相样品，这些参数的选择最为关键。但是也不要过分强调。在保证样品卡持器上的所有样品被磨平的前提下，磨削过程尽量选用颗粒细小的砂纸，这样能够在合理的时间之内，使得切割产生的损伤层被去除。如何获得没有损伤层的抛光表面。正确的方法：使用平坦的有机织物或抛光盘从而使样品浮凸最小。要想损伤层小，就要选用材料去除较小的制备表面，如丝绸，尼龙、聚脂纤维和聚氨酯类的抛光表面。所有的样品制备方法都必须保证样品表面不能有任何划痕，因为划痕下面就是严重的损伤，在抛光和磨光阶段划痕深度是不一样的。一个深的划痕意味着在其下面有一个深的变形存在。为了获得高质量的EBSD花样就必须去除这些划痕和其下面的损伤层。

在此所讨论的制备方法广泛的适用于各种金属及其合金，这种机械抛光的方法只需要三到五步就能制备完成。我们研究所用的EBSD系统是Oxford仪器的HKL系统和EDAX的TSL系统。SEM的光源使用是钨灯丝和LaB6。根据所使用的EBSD系统不同，样品的抛光表面与水平方向呈70°和74°夹角，TSL系统使用PQI作为EBSD花样标定指数质量评判，在本文中所显示的图像是在未侵蚀的样品上，随机选择的25个晶粒，其平均置信度极限95%。对于高纯金属样品使用HKL的EBSD系统，花样的质量使用具有平均偏差和标准偏差带状对比值表示。有几个铸造样品其晶粒非常大，所以仅仅获得了几个不同的EBSD花样。Si的样品是单晶样品，所以其所有的花样都是一样的。

试验结果：

第一个样品所展示的是冷轧的高纯Al(99.999%)和Al-7.12%Si铸造Al合金样品。由于Al的原子序数低其背散射电子少，所以要想获得其EBSD花样相当困难，高纯的金属比CP级纯金属样品制备更困难，合金相对而言要简单些。但是如果样品是轧制后未再结晶的样品，由于冷轧的样品导致晶体结构的变形，所以其EBSD花样的获得非常不易。若是样品同时具备上述二性质，也就是高纯的未再结晶的样品，对试验而言是一种极端的情况。上页表所示：所采用的制备方法，在第五步抛光完成后，最后未加入一步振动抛光，带状对比平均值是151.1。如下讨论根据我们的实际经验，在标准抛光步骤完成之后，若是加上20分钟的振动抛光，那么其

带状对比值至少提高10%。延长振动抛光时间其提高更大。在研究晶粒分布图时，需要可信度最高的标定指数这是非常关键的，尤其当每秒钟要标定成百上千点。必须使用带状对比值最高或者花样标定指数质量最好样品。

图1所示，冷轧态的高纯Al的显微组织。下一个是铸造Al-7.12%Si合金样品。其制备方法：采用五步制备方法，在3- μ m抛光步骤4分钟时间，未使用振动抛光步骤。在铸造的显微组织上有 α -Al枝晶和共晶的 α -Al和Si。 α -Al枝晶的EBSD花样如图2所示，在 α -Al枝晶上获得质量优良的衍射花样。图1和图2证明使用正确的制备方法，机械抛光方法完全可以得到高质量的EBSD花样。

纯Cu非常软并且塑性非常好。纯Cu和各种成分的Cu合金广泛用于电子领域，几种成分接近纯铜的Cu合金的样品，在样品制备过程中想要完全去除其损伤层非常困难。切割和磨光时的颗粒很容易损伤Cu样品导致损伤层存在。对于纯铜和黄铜合金样品其表面划痕去除非常不容易。如果划痕不能被去除，划痕下面就有损伤层存在。在随后的样品制备步骤中使用振动抛光+二氧化硅抛光液可以去除划痕和损伤层。过去的制备方法是在抛光过程中使用化学抛光液，但是现代先进的制备方法就不需要添加化学抛光液，最终抛光使用振动抛光机。表2所列：纯Cu及其合金的五步制备方法(振动抛光作为可选的第六步)。这对于合金和一些难于去除损伤的样品特别有用，在第五步后侵蚀样品，然后重复第五步抛光步骤。这可以减小损伤层从而得到高质量的EBSD花样。图3所示，是一个韧性纯Cu的EBSD晶粒取向分布图+标定质量分布图组合图片(Cu中的氧含量在400PPM)。它显示了晶粒结构和退火孪晶。图3显示了孪晶被消除后的情况。注意只有几个孪晶被保留下来，晶界夹角要比孪晶大点。这个样品没有侵蚀过。图4是样品被侵蚀后的对比。由于不能显示所有的晶粒边界和孪晶的边界，所以在光学显微镜下要测量孪晶的晶粒尺寸几乎是不可能的。除非采用彩色腐蚀的方法。

Table 2. Preparation Method for High-Purity Copper

Surface	Abrasive Size	Load Lb (N)	Platen Speed/Direction	Time (min.)
CarbiMet® Discs	240-grit (P280) SiC water cooled	6 (27)	240 rpm Contra	Until Plane
UltraPol™ or TriDent™ Polishing Cloth	9- μ m MetaDi® Diamond Suspensions*	6 (27)	150 rpm Contra	5
TriDent™ or TexMet® Polishing Cloth	3- μ m MetaDi® Diamond Suspensions*	6 (27)	150 rpm Contra	5
TriDent™ or TexMet® Polishing Cloth	1- μ m MetaDi® Diamond Suspensions*	6 (27)	150 rpm Contra	4
MicroCloth® or ChemoMet® Polishing Pads	0.05- μ m MasterMet® Colloidal Silica Suspension	6 (27) (7 lb/31 N for ChemoMet®)	150 rpm Contra	3
MicroCloth® Polishing Cloth	0.05- μ m MasterMet® Colloidal Silica Suspension	-	VibroMet® 2 Vibratory Polisher	≥20

* Add MetaDi® Fluid lubricant (charge with paste and MetaDi® Fluid, then add MetaDi® Supreme Suspension during the cycle)

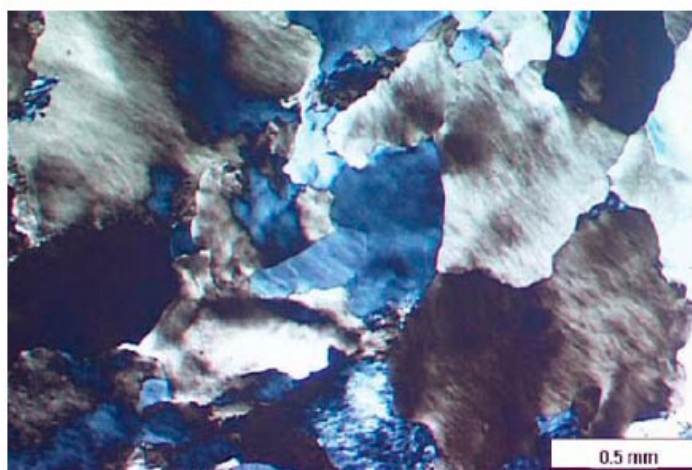
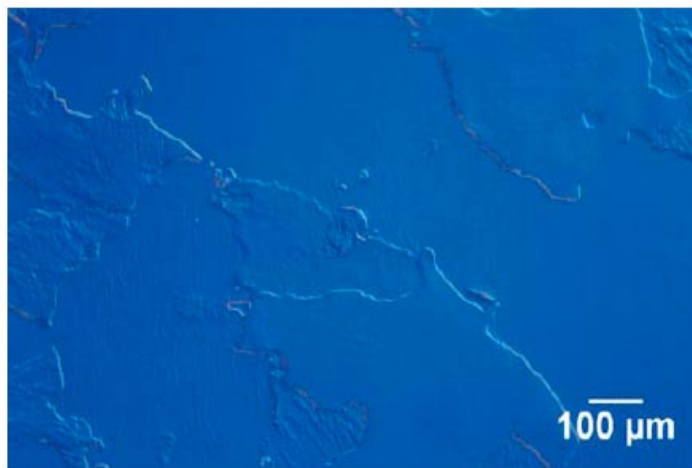


图 1: 冷轧99.999% Al; 上图: Keller's 侵蚀剂, Nomarski DIC照明; 下图: Barker's 侵蚀剂, 20 V DC, 2 分钟, 偏振光+灵敏色片。

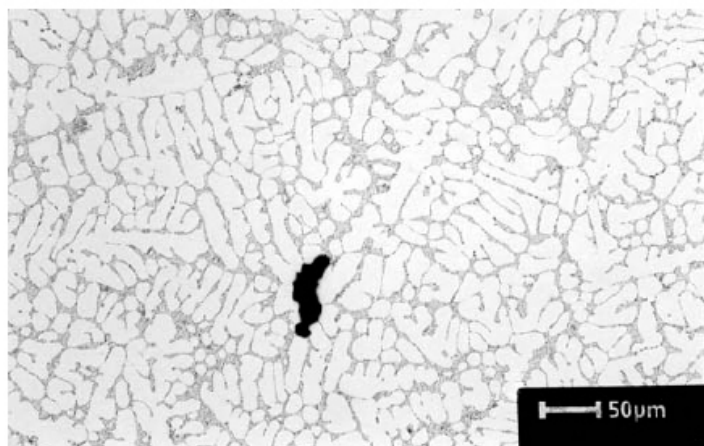
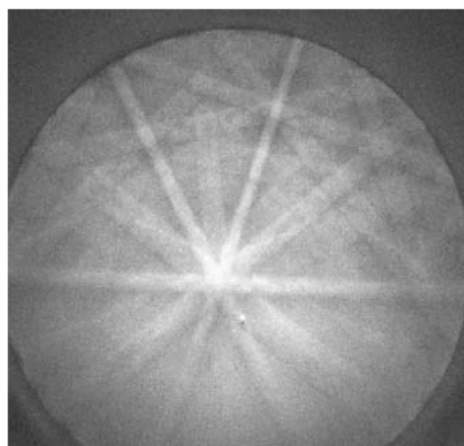


图 2: 上图: Al - 7.12% Si 铸造Al合金EBSD 花样; PQI: 87 ± 4.2 ; 下图: 亚共晶Al-7.12%Si 铸造Al合金在光学显微镜下组织, 0.5% HF 水溶液。

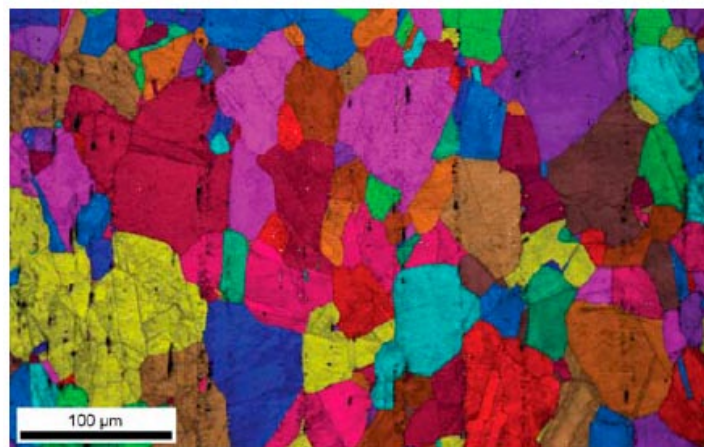
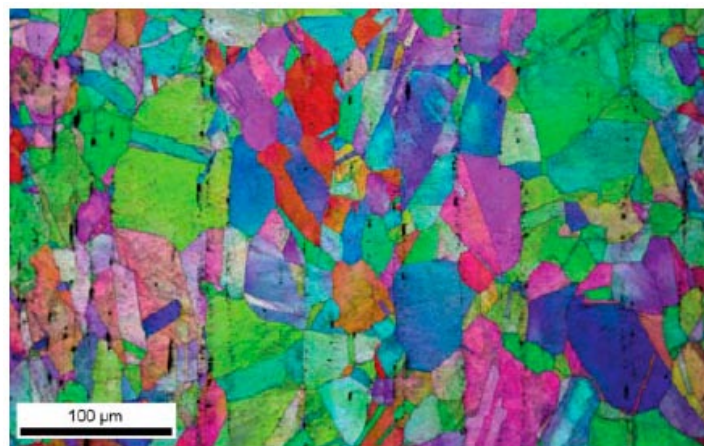


图 3: 所示韧性纯Cu的 EBSD 晶粒取向分布图+标定质量分布图组合图片。上图显示了晶粒结构和退火孪晶, 下图显示了孪晶被消除后的情况。

图 5 所示, 精锻的Cu - 30% Zn 弹壳黄铜的显微组织照片和 EBSD 花样照片, 冷轧厚度减少50% 在704 ° C退火, 保温 30 分钟, 在 α -Cu 基体上可见粗大的孪晶。对于这样的合金想要得到EBSD花样质量高的样品非常困难, 因为样品表面的划痕和损伤层非常难于去除。表 2 所示的方法, 制备这样的样品, 在3- μ m 和1- μ m 制备步骤上分别是4分钟和 3 分钟, 最后采用 30 分钟的振动抛光。

EBSD 花样也可以用于双相合金的研究, 只要合金的两个相在抛光后能够保持足够的平坦。如果浮凸存在, 那么低于样品表面的那个相将得不到 EBSD 花样。例如: Cu - 39.7% Zn - 0.8% Sn 是由 α - β 相组成。如果侵蚀后进行EBSD检测, 会发现只有 α 相的 EBSD 花样而没有 β 相的花样, 这是因为 β 相容易侵蚀从而使得 β 相所在的位置出现凹陷。如果重新抛光这个样品, 不要进行侵蚀就去 EBSD 检测, 我们会发现 α 和 β 相的 EBSD 花样都非常好。图6所示, 海军黄铜样品按照这种制备方法获得的效果图。

面扫描功能是EBSD技术的应用之一。图 7所示: 晶粒取向的面扫描分布图和标定质量分布图的组合图, 晶粒取向的面扫描分布图使用的是反极图, 晶粒取向不同的晶粒被染色成不同的颜色。

可能 Zr 和其合金的EBSD的样品制备是最困难的。实践证明表 3 所列出的方法用于 Zr 和其合金的EBSD的样品制备是非常可靠的方法。在使用 SiC 砂纸前, 在其表面涂抹上一层固体石蜡, 最后的抛光步骤中添加 5 : 1 二氧化硅+双氧水 (30% conc.) 最后采用振动抛光 (30 minutes)。

图 8 所示 高纯 Zr (99.99%)，退火态。第一幅图片是包含所以晶粒Euler角和带状对比图的显微组织结构图；第二幅图片是在反极图加上晶界图（晶界使用黑点填充）。在这个区域显示的带状对比平均值为92.34。

我们使用了6个样品进行对比，用于评价振动抛光效果。每个样品采用标准的抛光方法，随后采用20 minute 振动抛光。

如果样品制备并不像以往那样好的话，此时采用振动抛光会使抛光效果有很大提高。振动抛光时间越长其效果越好。表 4 汇总了采用振动抛光后带状对比值提高情况，前五个元素的平均提高 11.1%；而Pb在使用振动抛光前，没有获得EBSD花样，采用振动抛光后，得到了EBSD花样。

表 5 汇总一些难以制备的金属及其合金的 PQI 结果。结果显示：如果采用正确合理的机械制备的方法，完全可以得到没有损伤层的EBSD样品，而其标定指数完全可信。Ni基耐热合金 (Carpenter's Custom Age 625 + 细晶粒718) 包含一些亚微观的强化相(后者也包含了大量的 δ 相)，这样导致EBSD 分析更加困难。纯Ta样品是个P/M 样品，不是非常密实。

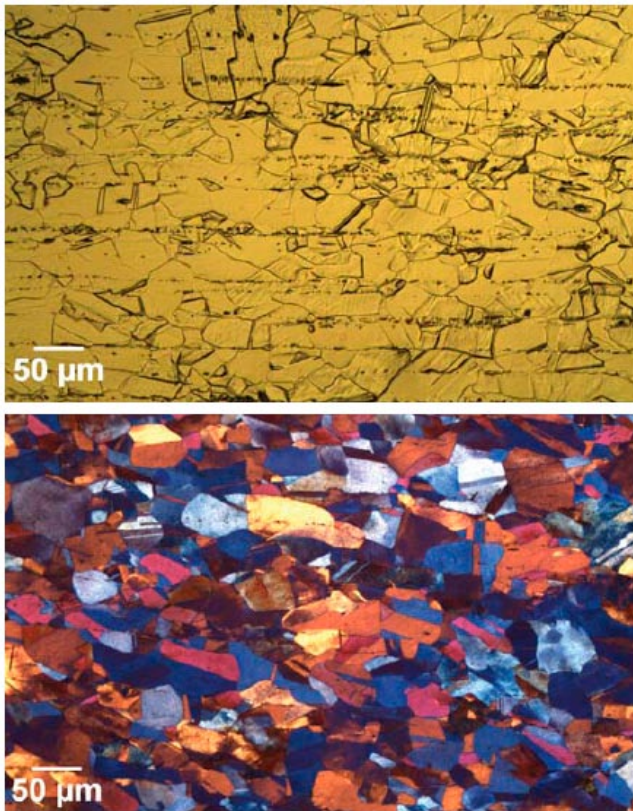


图 4: 所示，韧性纯Cu精锻退火后，显微组织；上图：侵蚀剂 1: 1氢氧化铵+双氧水 (3% conc)；下图: Beraha's PbS 彩色腐蚀，偏振光+灵敏色片。

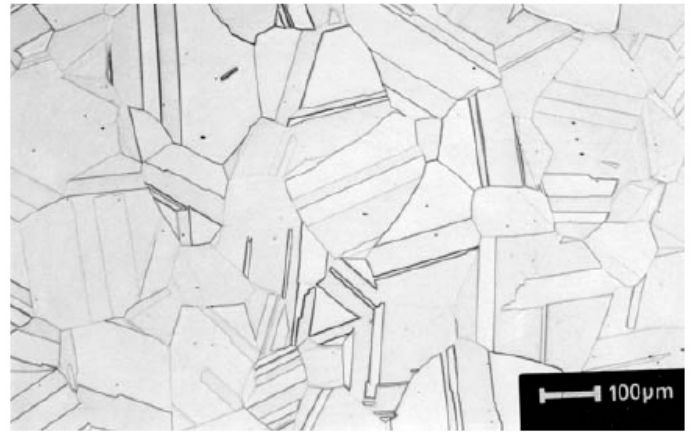
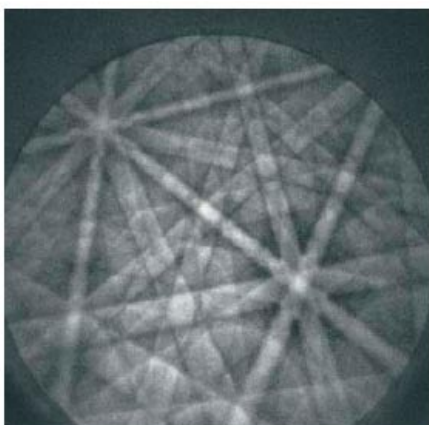


图 5: 弹壳黄铜的EBSD花样照片和显微组织照片：上图: Cu - 30% Zn合金 EBSD花样 PQI: 221 ± 8.6 ；下图:Cu - 30% Zn 合金精锻退火后，显微组织，侵蚀剂 1: 1氢氧化铵+双氧水。

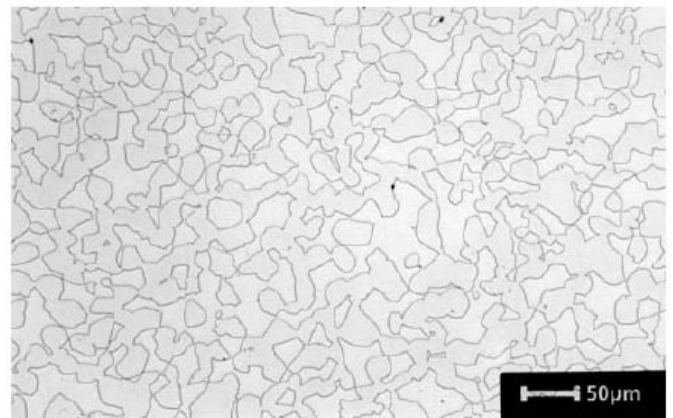
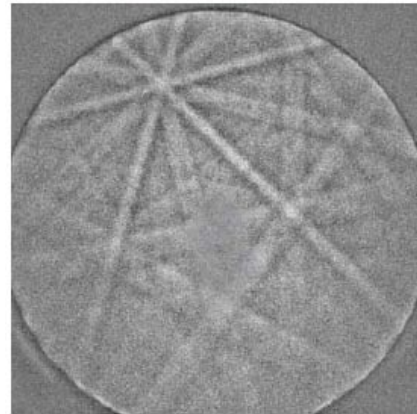
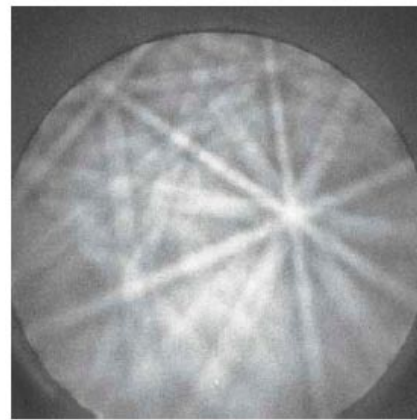


图 6: 海军黄铜的EBSD花样照片和显微组织照片：上图和中图: α 和 β 相的EBSD花样，其分别为: PQI= $118.5 \ 8.7$ 和 $150.4 \ 20.7$ ；下图: 侵蚀后显微组织照片，侵蚀剂: 100 mL 水+ 3 g过硫酸铵+ 1mL 氢氧化铵 (-Cu连续分布相)

使用上述或类似的五步制备方法(Ti使用四步制备方法), 采用第二种评判方法, 高纯Cu (纯度 >99.95%)的带状对比值为18。这种制备方法可以广泛用于Mg (原子序数12) 到 Bi (原子序数 83) 晶体结构: BCC(6), FCC (4), HCP (5), 立方系金刚石 (1) 和菱形/三角晶系(2)。表 6 所列样品是采用标准的制备方法制备样品后的带状对比值, 其中六种样品的制备, 最后加上一步振动抛光后的结果列于表 4。

即便使用 240和320 grit的粗砂纸, SiC 砂纸颗粒还是容易嵌入到纯 Sb, V 和纯 Zr 样品上。因此在使用砂纸磨光时, 在砂纸上要涂抹上固体石蜡。在制备 Cr, Nb, Ti, W 和Zr样品时, 最后抛光要使用化学抛光剂双氧水 (30% conc.)。

通常最后一步使用MasterMet® 二氧化硅抛光液, 除 Fe (MasterPrep® 氧化铝抛光液) 和 Mg (使用无水 MasterPolish®抛光液)。制备纯Mg (99.999%)时, 使用油基的金刚石抛光液(9, 3和 1- μm)。对于纯 Bi 和纯 Pb 样品, 采用四步磨光步骤: 使用240-, 320-, 400- 和 600-grit 涂抹固体石蜡后的SiC砂纸, 并在样品上施加较小的力, 随后采用三步抛光 5-, 1- 和 0.3- μm 氧化铝抛光液, 最终抛光使用MasterMet® 二氧化硅抛光液。所有抛光步骤都是用人造的MicroCloth® 抛光布。虽然在Bi样品上的得到很好的 EBSD 花样, 而在纯 Pb 样品上没有得到 E B S D 花样, 但是随后采用MasterMet®二氧化硅抛光液+ MicroCloth® 抛光布, 在振动抛光机上抛光一个小时后, 在纯Pb样品上得到了不错的 E B S D 花样。

对于Zr样品的制备, 通常是在机械抛光之后, 采用 2 分钟的化学抛光。为了对比, 我们把第二个样品进行化学抛光后进行 E B S D 观察, 出人意料的是化学抛光后的样品上没有得到 E B S D 花样。化学抛光后, 虽然在偏振光下的效果明显改善, 但是由于晶粒倒角 (严重浮凸), 所以没有花样。有实验显示在化学抛光时, 在样品上施加较大的压力可以减轻浮凸现象, 可以得到较好的 E B S D 晶粒分布图。纯 Zr 试验结果列于表 6, 早期的样品制备方法不如表 3 所列的现在采用的制备方法有效。对于纯 Zr样品, 使用表 3 的制备方法, 其带状对比值平均值 9 2.3 4, 每个像素产生大约 9 0 个可标定的衍射花样。表 6 所列的带状对比值平均值 7 7.3, 每个像素产生大约 2 0 个可标定的衍射花样。

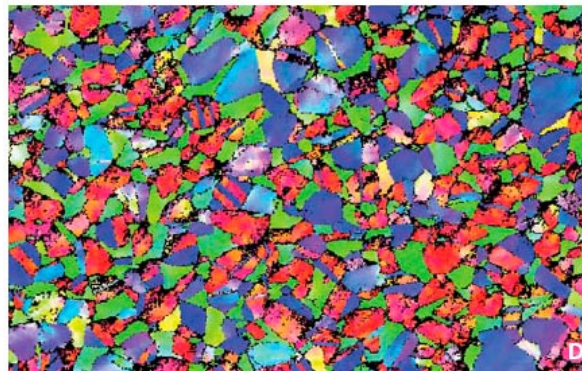
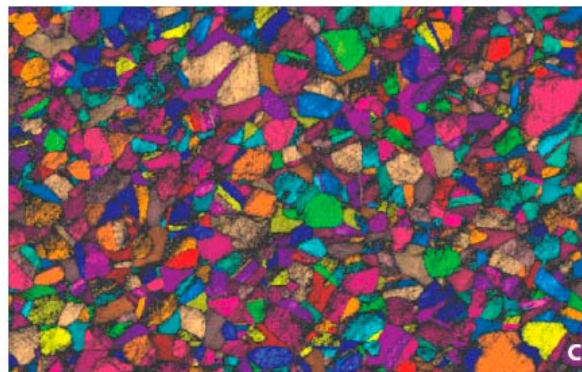
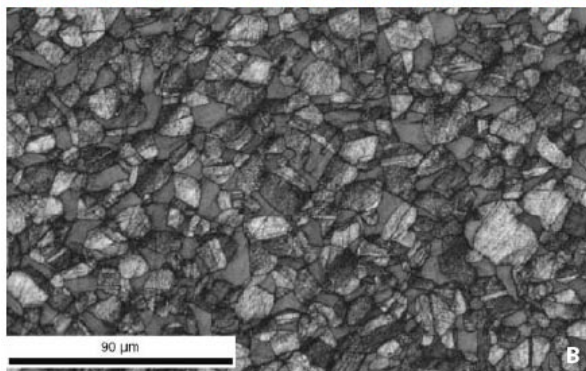
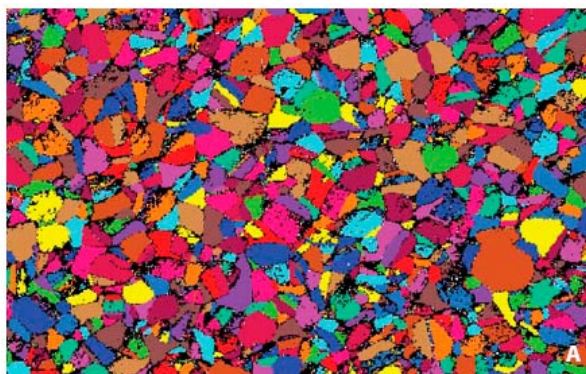


图 7: 海军黄铜样品的各种 EBSD分布图 A) 晶粒取向分布图; B) 标定质量分布图; C) 晶粒取向分布图+标定质量分布图; D) 反极图。

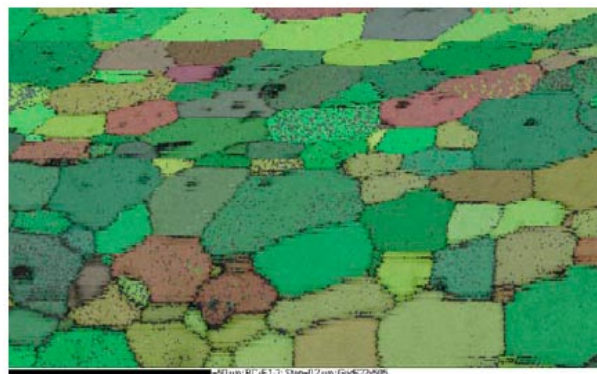


图 8: 两个高纯Zr (99.99%)晶粒分布图;上图: 所有Euler角+ 带状对比值分布图; 下图 : 反极图+晶界(完整晶粒)。

Table 3. Preparation Method for High-Purity Zr and Zr Alloys

Surface	Abrasive Size	Load Lb (N)	Platen Speed/Direction	Time (min.)
CarbiMet® Discs	240-grit (P280) SiC water cooled*	5 (22)	240 rpm Contra	Until Plane
CarbiMet® Discs	320-grit (P400) SiC water cooled*	5 (22)	240 rpm Contra	1
UltraPol™ Polishing Cloth	9-μm MetaDi® Diamond Suspensions**	6 (27)	200 rpm Contra	10
TriDent™ Polishing Cloth	3-μm MetaDi® Diamond Suspensions**	6 (27)	200 rpm Contra	7
TriDent™ Polishing Pads	1-μm MetaDi® Diamond Suspensions**	6 (27)	200 rpm Contra	5
MicroCloth® Polishing Cloth	0.05-μm MasterMet® Colloidal Silica Suspension	6 (27)	200 rpm Contra	7
MicroCloth® Polishing Cloth	0.05-μm MasterMet® Colloidal Silica Suspension	-	VibroMet® 2 Vibratory Polisher	≥20

* Coat SiC paper with paraffin before grinding.
** Add MetaDi® Fluid lubricant (charge with paste and MetaDi® Fluid, then add MetaDi® Supreme Suspension during the cycle)

Table 4. Band Contrast Improvement Due to Vibratory Polishing (20 min.*)

High-Purity Element	Mean Band Contrast (0 to 255)	
	Standard Method	Standard + Vibratory Polish
Mg	161.2	175.25 (+8.7%)
Si (single crystal)	205.75	233 (+13.2%)
Ti	134.0	146.2 (+9.1%)
Ni	85.0	102.8 (+20.9%)
Nb	145.6	151.2 (+3.8%)
Pb*	no visible EBSD pattern	108.0

* A 60 minute vibratory polish was used for the lead specimen.

Table 5. Pattern Quality Index Values for Various Metals and Alloys

Metal/Alloy	PQI±95% CL	Metal/Alloy	PQI±95% CL
α-Al in Al-7.12% Si	87 ± 4.2	α-Cu in Cu-30% Zn	221 ± 8.6
Cu-39.7% Zn-0.8% Sn	118.5 ± 8.7 for α	Cu-39.7% Zn-0.8% Sn	150.4 ± 20.7 for β
Elgiloy (Co-based)	221.4 ± 7.4	Pure Fe (annealed)	249.6 ± 5.5
Si Core Fe B	199.9 ± 7.4	316 Stainless Steel	184.9 ± 8.5
2205 Duplex SS	248 ± 15.4 for α	2205 Duplex SS	207.9 ± 11 for γ
Ni-200	176.3 ± 17.6	HyMu 80 (Ni-base)	196.7 ± 7.2
Nitinol (Ni-Ti)	58.7 ± 4.3	CA625 Plus (Ni-base)	200.5 ± 6.5
Fine Grain 718 (Ni-base)	80.7 ± 4.4	Pure Cr	259.8 ± 13.1
Pure Nb	166.2 ± 17.1	Pure V	125.9 ± 10.3
Pure Ta	169.7 ± 13.0	CP Ti ASTM F67 Gr2	119.1 ± 4.1
W in W-27 Cu	296.9 ± 20.1	Pure Bi	86.2 ± 1.8
Pure Pb	49.3 ± 3.0	Pure Ru	266.2 ± 21.8

Table 6. Band Contrast Values for 18 Pure Metals

High-Purity Elements	Atomic Number	Crystal Structure	Band Contrast (0-255)
Mg	12	hcp	161.2
Al*	13	fcc	151.2
Si	14	diamond cubic	205.8
Ti	22	hcp	134.0
V	23	bcc	102.2
Cr	24	bcc	88.3
Fe*	26	bcc	105.4
Ni	28	fcc	85.0
Cu	29	fcc	122.6
Zn	30	hcp	170.8
Zr	40	hcp	77.3
Nb	41	bcc	145.6
Ru	44	hcp	66.0
Sb	51	rhombohedral	180.2
Ta	73	bcc	122.8
W	74	bcc	91.6
Pb	82	fcc	108.0**
Bi	83	rhomb./trigonal	255.0

* Cold worked
** Results after vibratory polishing, as the band contrast was zero after the standard preparation cycle.

[1]. G. F. Vander Voort, Metallography: Principles and Practice, ASM International, Materials Park, OH, 1999; originally published by McGraw-Hill Book Co., NY, 1984.

[2]. G. F. Vander Voort, "Color Metallography," Vol. 9 ASM Handbook, Metallography and Microstructures, G. F. Vander Voort, ed., ASM International, Materials Park, OH, 2004, pp.493-512.

[3]. G. F. Vander Voort, "The SEM as a Metallographic Tool," Applied Metallography, G. F. Vander Voort, ed., Van Nostrand Reinhold Publishing Co., Inc., NY, 1986, pp. 139-170.

[4]. G. F. Vander Voort, et al., Buehler's Guide to Materials Preparation, Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, 2004, 135 pgs.

如果你有问题希望得到解决，或者你有解决某一问题的办法并认为对我们的读者有帮助，请写信、打电话、或发传真到：

BUEHLER Ltd.
41 Waukegan Road, Lake Bluff, Illinois 60044
Web Site: <http://www.buehler.com>

BUEHLER ASIA
Benny Leung

Room 3, 5/F Vogue Centre, 696 Castle Peak Road, Lai Chi Kok, Kowloon, HK
Web Site: <http://www.buehler-asia.com>

Thomas Li
Thomas.li@buehler.com
Room C0205, Building C, College of materials science and engineering, Tianjing University, China
Web Site: <http://www.buehler-asia.com>