地 质 学 报

1978 年　ACTA GEOLOGICA SINICA　第 4 期

新矿物道马矿（Daomanite）的研究

於祖相　丁奎首　周剑雄

新矿物道马矿在 1972 年间发现的。它的初步成果在1974年第二期地质学报上作了报道。77年底至 78 年初，重新开展了道马矿的研究工作，其中包括晶体结构、空间群、晶胞参数、晶体形态及物性、反光显微镜下的光学性质、矿物的化学成分以及矿物的产出状态等，都重新进行实测或观察与调查研究工作。本文报道的为矿物结构外的其他有关成果。

一、产　　状

道马矿产在石榴石角闪辉石岩或橄榄辉石岩中。岩体规模不大，岩相分异也不明显。但一般还存在着岩体边缘富石榴石而中部富辉石、角闪石的现象。石榴石为钙铁石榴石类，而辉石为钠铁辉石类。石榴石角闪辉石岩实际上是闪辉岩侵入地表后，同化或混染斜长岩后的产物。

矿体为含铂的铜硫化物矿脉，主要分布在富辉石或角闪石部位，即为石榴石角闪辉石岩体的中部。矿体呈透镜状、或透镜状的扁豆体。

组成矿石的金属矿物主要为斑铜矿、黄铜矿、针铁矿等。次要为黝铜矿、硫铜钴矿、黄铁矿等以及少量钽锰矿（Calvorolite)、钽铌锰矿、方铅矿、辉锑矿等。共生的铂钯矿物种类较多。主要的铂矿物能从光片中见到的有砷铂矿、硫铂矿、碲铂矿、丰滦矿、道马矿、大营矿等。次要的都从人工重砂中获得，有硫铂钯矿以及含量较少的伊逊矿[1]等。

二、物 理 性 质

道马矿交代斑铜矿呈自形板状晶体为其特征。晶体沿{010}生长，并有 b(010)、a(100)、n(011)等组成晶面。晶面略带弯曲。有时按{101}呈肘状多连晶。有{010}、{100}、{001}、{110}四组解理（图版 II，照片 1)。以{010}最为发育和完整，以{110}最不发育。粒度 0.2—0.3 毫米。性脆。无磁性。金属光泽。碎片钢灰色带黄。新鲜面银灰白色。粉末与条痕黑色。矿物不溶于 HCl、HNO_3。

三、反光显微镜下光性

反射色淡黄发绿。强非均质性。在完全正交偏光下{010}上偏光色为鲜艳天蓝色至草灰色发红。在不完全正交偏 1—2° 时，为蓝绿色至淡红色。平行消光。无内反射。有双反射及反射多色性。$/\!/c$ 淡黄色发绿。$\perp c$ 淡黄色。磨光性良好。慕托黑（Murdoch）浸

1）根据作者最近的研究，在不同伊逊矿（Yixunite）颗粒中，其成分是有变化的。实测 1：In 46.74%；Pt 52.08%。化学式 $In_{0.60}Pt_{0.40}$，$a_0 = 3.995$ Å。实测 2：In 12.42%；Pt 85.14%。化学式 $Pt_{0.80}In_{0.20}$，$a_0 = 3.963$ Å。实测 3：In 8.56%；Pt 91.52%。化学式 $Pt_{0.87}In_{0.13}$，$a_0 = 3.948$ Å。——编者

蚀试剂不起作用。

矿物在反射光下偏光面旋转数值是借助于赖蒂目镜(Wright Ocular)及纳克密拉试片(Nukamura Plate)完成的。当矿物在消光位时，两半纳克密拉试片呈同等的明暗。再转动载物台 45° 时，纳克密拉试片两半明暗不同。在 Zeiss 干涉滤光片中滤出的各个波段的单色光中转动顶偏光使两半的纳克密拉试片恢复同等的明暗，此时偏光镜的转角，即矿物对不同波长光下的旋转角。道马矿 {010} 在不同波长光下偏光面的旋转角：

475 nm	544 nm	596 nm	650 nm
0.7°	0.9°	0.3°	0.2°

道马矿 {010} 在聚敛光下，当矿物在正交偏光的消光位中再转动 45° 时的偏光象为一对双曲线的消光带。它的凹面边蓝色、凸面边黄色—红色。反射旋转相对色散 DR, $v > r$。视旋转角相对色散 DAr $v > r$ 弱

475 nm	544 nm	596 nm	650 nm
2.7°	2.2°	2.4°	2.1°

以西德 Leitz 厂产的 Ortholux 显微镜装置的 MPV-1 型显微光度计中进行反射率的测定，以国际矿相协会 (COM) 公布 WC 数据为标准。测得道马矿在不同波长可见光的反射率 (R%) 为：

R%	480 nm	546 nm	589 nm	650 nm
$/\!/c$（延长方向）	40.8	42.6	41.4	37.9
$/\!/a$（⊥延长方向）	37.7	39.1	39.6	36.7

陈殿芬测定

道马矿的显微硬度在苏制 МПТ-3 压入型硬度仪中测定的。在测定前仪器用石盐作标准进行过调整。共测定五次平均。道马矿 VHN_{10-20} 169—175，其相应的摩斯硬度约 3.8。

道马矿的比重因样品太少，无法进行实测，只能由晶胞、化学成分来计算它的理论值：

$$D = \frac{M \cdot Z \cdot 1.6602 \cdot 10^{-24}}{V}$$

由于道马矿的空间群决定了它的单位晶胞中的分子数 Z 必须为 4，再根据其晶胞 $V = 362.05$ Å^3，矿物的分子量 $M = 397.58$。求得矿物理论比重值 $D = 7.303$。这和已知的一般硫砷化物及铂的硫砷化物的比重值相比，还是较合理的。

四、晶系、晶胞参数

道马矿的晶系由 b 轴劳埃照相（图版 I，照片 2）确定为斜方晶系(即 X 射线垂直入射晶体板面方向)。晶胞参数由周转法及魏森堡法求得：$a_0 = 5.93$ Å $\pm 0.5\%$；$b_0 = 16.23$ Å $\pm 0.5\%$；$c_0 = 3.76$ Å $\pm 0.5\%$；轴率 $a_0 : b_0 : c_0 = 0.365 : 1 : 0.231$。

实测的晶胞参数推导的面网间距 d 值、θ 值、$\sin^2\theta$ 值与实测粉晶 d 值及 d 值推导 θ 值、$\sin^2\theta$ 值间进行比较(表 1)。它们间是比较吻合的。

为了更精确的求得矿物的晶胞，已对实测矿物的 d 值采用电子计算机进行修正求得它的平均数：$a_0 = 5.9295$ Å；$b_0 = 16.3434$ Å；$c_0 = 3.76863$ Å。由修正晶胞值推算 d 值、θ 值与 $\sin^2\theta$ 值，与实测 d 值的 $\sin^2\theta$ 的差数，远较实测 d 值推算 $\sin^2\theta$ 间的差数为大。

表 1

线序	hkl	样品1 FeK_α	实测 57.3 mm	样品1 CuK_α	实测 57.3 mm	样品2. 实测 CuK_α 114.6 mm					由实测晶胞推算		$\Delta(\sin^2\theta_{推算}-\sin^2\theta_{实测})$
		d	I	d	I	d	I	θ	$\sin^2\theta$	d	θ	$\sin^2\theta$	
1	020	8.00	7	8.00	8	8.00	8	5.53	0.0093	8.11	5.46	0.0091	−0.0002
2		7.32	7	—		—				—			
3	120	4.70	3	4.71	5	4.72	5	9.39	0.0267	4.78	9.28	0.0260	−0.0007
4	140	3.25	8	3.248	7	3.30	8	13.30	0.0529	3.34	13.34	0.0533	+0.0004
5	031	3.05	10	3.062	10	3.02	10	14.78	0.0651	3.08	14.49	0.0626	−0.0025
6	220	2.92	5	2.910	5	2.93	5	15.25	0.0693	2.78	16.09	0.0845	+0.0152
7	131	2.72	3	2.717	4	2.75	3	16.28	0.0786	2.73	16.40	0.0797	+0.0011
8	240	2.39	5	2.418	4	2.38	3	18.89	0.1039	2.39	18.81	0.1040	+0.0001
9	211	2.35	1	2.357	1	—							
10	151	2.23	3	2.244	3	2.24	2	20.13	0.1184	2.26	19.94	0.1163	−0.0021
11	231	2.10	8	2.104	8	2.13	5	21.22	0.1310	2.13	21.22	0.1310	0.0000
12	260	—		—		1.99	1	22.79	0.1501	1.99	22.79	0.1501	0.0000
13	071	1.97	2	1.969	2	—							
14	220	—		—		1.92	2	23.67	0.1612	1.92	23.67	0.1612	0.0000
15	251	—		—		1.89	3	24.07	0.1663	1.89	24.07	0.1663	0.0000
16	171	1.87	5	1.866	5	1.85	3	24.62	0.1736	1.872	24.32	0.1696	−0.0040
17	022	1.83	9	1.828	8	1.82	1	25.06	0.1792	1.831	24.90	0.1773	−0.0019
18	311	1.745	3	1.737	5	1.735	3	26.38	0.1974	1.739	26.32	0.1942	−0.0032
19	042	1.71	3	1.710	5	1.720	5	26.62	0.2008	1.705	26.88	0.2044	+0.0036
20	142	1.63	5	1.631	5	1.638	2	28.07	0.2215	1.639	28.05	0.2212	−0.0003
21	202	1.58	3	1.575	3	—							
22	351	1.53	5	1.525	4	1.53	5	30.04	0.2504	1.540	30.04	0.2506	+0.0002
23	420	1.46	<1	1.458	2	—							
24	371	—		1.396	<1	1.395	<1	33.55	0.3054	1.392	33.62	0.3066	+0.0012
25	411	1.37	1	1.374	1	1.375	<1	34.10	0.3143	1.374	34.13	0.3148	+0.0005
26	431	—		1.337	1	1.330	3	35.42	0.3359	1.336	35.24	0.3330	−0.0029
27	342	1.28	5	1.279	4	1.289	2	36.73	0.3577	1.291	36.66	0.3565	−0.0012
28	391	—		—		1.255	1	37.20	0.3773	1.255	37.90	0.3773	0.0000
29	0.10.2	1.23	2	1.234	2	1.235	1	38.62	0.3895	1.228	38.85	0.3934	+0.0039
30	033	1.22	3	1.220	2	1.220	1	39.19	0.3993	1.221	39.15	0.3987	−0.0006
31	471	1.185	5	1.184	3	1.182	1	40.70	0.4252	1.185	40.58	0.4232	−0.0020
32	422	—		—		1.155	<1	41.87	0.4438	1.152	42.00	0.4477	−0.0039
33	540	—		1.136	<1	1.140	<1	42.55	0.4573	1.138	42.64	0.4584	+0.0011
34	382	1.123	5	1.122	3	1.130	<1	43.26	0.4696	1.128	43.11	0.4671	−0.0025
35	442	1.113	3	1.111	3	1.115	<1	43.74	0.4780	1.118	43.59	0.4754	−0.0026
36	4.10.0	1.093	<1	—		—							
37	173	1.080	8	1.0876	3	1.080	2	45.54	0.5094	1.083	45.38	0.5067	−0.0027
38	551	1.063	<1	—		—							
39	313	1.058	1	1.058	3	1.058	1	46.77	0.5309	1.056	46.89	0.5329	+0.0020
40	3.10.2	1.050	<1	—		—							
41	0.9.3	1.030	≪1	1.030	≪1	—							
42	571	1.019	≪1	1.015	<1	1.016	<1	49.35	0.5757	1.016	49.35	0.5757	0.0000
43	353	1.004	3	—		1.005	1	50.09	0.5883	1.006	50.02	0.5871	+0.0012
44		0.998	3	0.9999	3	—							
45	522	0.990	5	0.989	3	0.992	3	50.99	0.6038	0.995	50.78	0.6002	−0.0036
46	2.16.0	—		0.963		0.961	1	53.34	0.6435	0.959	53.49	0.6460	+0.0025
47	660	—		—		0.930	2						

由此说明实测晶胞的参数值的精度是在电子计算机的误差范围内，它是符合研究要求的。

由魏森堡三个晶轴 0、1、2、层照片上显示斑点（因篇幅所限、不予一一列举），均遵从以下规律：

$$hkl:\ k+l=2n;\qquad hoo:\ h=2n;$$
$$okl:\ k+l=2n;\qquad oko:\ k=2n;$$
$$hko:\ k=2n;\qquad ool:\ l=2n;$$
$$hol:\ h=2n(l=2n)。$$

根据上述消光规律晶体的衍射符号为 $mmmA\text{-}a\text{-}$。可能的空间群为：$D_{2h}^{17}=Amam$；$C_{2v}^{12}=Ama2$；$C_{2v}^{16}=A2am$。至于晶体确切的空间群有待进一步结构分析后决定。

五、粉 晶 数 据

道马矿粉晶用粉末及单晶先后照过 CuK_α、FeK_α，照相机直径 57.3 mm、114.6 mm 的照片 4 张。铁靶 57.3 mm 低角度较为清楚，但与铜靶的比较多了一根不应有的强线 7.32 (70)。这可能铂的原子序数较大，对较长 FeK_α 在低角度谱线吸收分裂作用造成的。

道马矿的粉晶数据已列入表 1 中。它的摄取条件：

样品 1：研细粉末柱。摄取照片二张。一为 FeK_α，ϕ57.3 mm。电压 26 KV，电流 26 mA。暴光 4 小时（图版 I，照片 4）另一为 CuK_α，ϕ57.3 mm，电压 30 KV，电流 26 mA。暴光 17 小时（图版 I，照片 3）。

样品 2：道马矿单晶。射线 CuK_α，直径 114.6 mm。电压 35 KV，电流 30 mA，暴光 13 小时。

道马矿（表中）粉晶数据（样品 1 CuK_α 的）是在比长仪中测定的，其他都由 d 尺测定的。

样品 2 道马矿的晶体较大，衍射线清楚。虽为单晶但由于有择尤取向，便于量得较好数据。因此表中在对比由实测晶胞计算 θ 值、$\sin^2\theta$ 时，以此为标准。

道马矿的主要粉晶衍射线及其强度：8.00(8)；3.30(7)；3.05(10)；2.12(8)；1.830 (7)。

六、化 学 成 分

道马矿的样品从两个人工重砂的样品中得到的，一个取自道区石榴石角闪辉石岩中，另一个取自马区橄榄辉石岩中。由于矿物晶体较大，样品都在粗级摇床精矿产品中获得的。两个地区的三个样品装在铜圈的导电胶中进行电子探针分析。

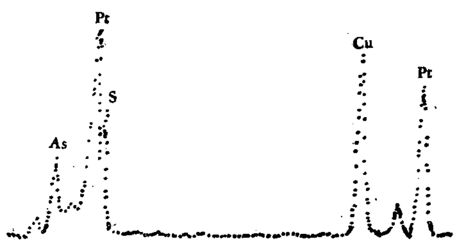


图 1　X-射线能谱脉冲分布图

分析用的电子探针为日产 JSM-35 型扫描电镜。电镜 X-射线出射角 35°。工作电压 25 Kev.。以铜台束流 2 × 8⁻⁸A 为标准。分析前样品先由美产 ORTEC 6200 X-射线多道能谱仪进行半定量检查（图 1）。然后由电子探针进行定量测定（图版 II，照片 5、6、7、8、9）。分析样品的标准硫为硫

铂矿、方铅矿、黄铁矿。砷为砷铂矿。铂为自然铂与硫铂矿等多种标样相互比较。测得结果在电子计算机中进行 ZAF 的校正。由于矿物表面磨制得十分平坦，不同产地与不同颗粒经多次重复测定都比较稳定，重现性好。

	Cu	Pt	As	S	总 数	原子比值及化学式
1.	15.68	49.73	18.30	16.31	100.02	$Pt_{0.97}$ $Cu_{0.97}$ $As_{0.96}$ $S_{2.00}$
2.	13.36	51.11	18.86	16.58	99.91	$Pt_{1.03}$ $Cu_{0.81}$ $As_{0.97}$ $S_{2.00}$
3.	15.57	50.64	17.74	16.43	100.38	$Pt_{1.01}$ $Cu_{0.96}$ $As_{0.92}$ $S_{2.00}$

定量检查 Sb(－), Te(－), Pb(－), Bi(－), Pd(－)。
样品 1: 马区，73 年样；样品 2, 3；道区 78 年样。

小 结

道马矿为硫盐类矿物，其化学式为 A_2BX_2 型。目前尚无类似矿物可与之对比。

铂族元素的地球化学性质为亲硫与亲铜的特征。其组成的矿物铂常与铜化合。但大部分仅限在金属的互化物上。但某地区铂除了与铜呈互化物外，铂还与铜形成一些化合物出现。除道马矿外，还有马兰矿、大营矿、兴中矿等一些新矿物。

我国某地区中铂的成因类型较多。其中铜硫化物类型亦有远景。道马矿在铜硫化物类型中分布较为普遍，而且也易从矿石中分离或选出。因之，新矿物道马矿的发现不仅丰富了矿物学、结晶化学、地球化学的内容，而且更重要的道马矿具有工业上可供利用的价值。这对于今后某地区找铂工作，都有一定的实际意义。

分析样品存放中国地质科学院地质所

参 考 资 料

[1] 於祖相等 1974 我国某地区含铂岩体中铂族元素的伴生的新矿物研究。地质学报，2 期 202 页。
[2] 戈尔德施密特V. M. 1954 地球化学。科学出版社。
[3] 罗日科夫，И. С. 等 1974 阿尔丹地质的铂。地质出版社。
[4] 布拉格，W. L. 1955 矿物的原子构造。地质出版社。
[5] Fleisher, M., et al. (1976): New mineral names. The Amer. Miner. 61, 174—186.
[6] Fleisher, M. et al. (1976): Glossary of platinum-group minerals. Ecnomil Geology 71, 1477.
[7] Hey, M. H., (1976): Twenty-ninth list of new mineral names. Miner. Mag. 41, 903.
[8] Cameron, E. N., (1961): Ore Microscopy.
[9] Birks, L. S., (1971): Electron probe microanalysis. Second Edition.
[10] Bulletin de la Societé franaise de mineralogie et de Cristallagraphic. Sep-Octa, 1976. To-megg.
[11] Яковлевская, T. A. 1977 Новые минералы XXXI. Зап. Вее. минер. общес. вы 1, 1969.

DAOMANITE, A NEW PLATINUM MINERAL

Yu Zuxiang*, Ding Kuishou, Zhou Jianxiong

Abstract

A preliminary study of the daomanite was published in the 1974 Volume of Acta Geological Sinica. The present paper covers some additional study.

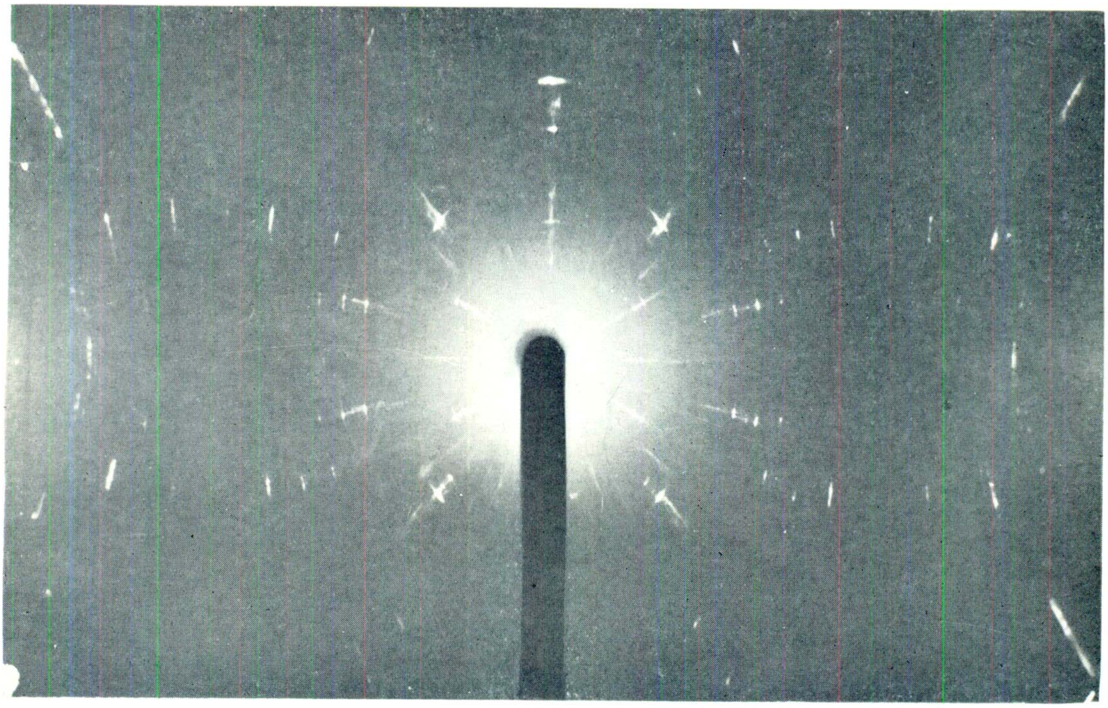
Daomanite found in veins of a platinum-bearing cobalt-copper ores in garnet amphibole pyroxenite or olivine pyroxenite. The chief ore minerals are bornite chalcopyrite, limonite, carrolite, pyrite. Lesser ore minerals are tetrahedrite, galena, calvorolite, stibnite, associated with sperrylite, cooperite, moncheite, dayingite, fengluanite and yixunite.

Daomanite occurs as idiomorphic tabular crystals and is formed by replacement of bornite. Crystal with elongate b (010). Frequent forms of crystal morphology: b (010) prominent, a (100), c (001), n (011). Cleavege {010} perfect, {100}, {001} distinct, {110} less distinct. Curved faces common. Size 0.2—0.3 mm, thickness 0.05 mm. Frequently in elbow-shaped multiple twin plane {101}. Luster metallic. Colour steel grey. On fresh fracture silver grey. Insoluble in HNO_3 and HCl.

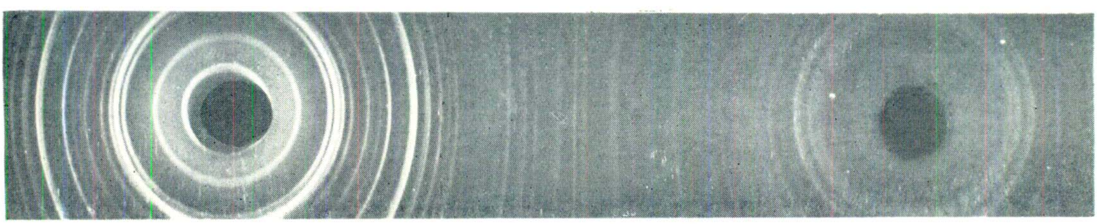
By single-crystal weissenberg and rotation photography, daomanite exhibites an orthorhombic lattice. The space group is $D_{2h}^{17} = Aman$; $C_{2v}^{12} = Ama2$ or $C_{2v}^{16} = A2am$. The cell dimensions: $a_0 5.93Å \pm 5\%$; $b_0 16.23Å \pm 0.5\%$; $C_0 3.76Å \pm 0.5\%$, are in good agreement with those determined by powder diffraction data.

The three chemical compositions of daomanite were determined by energy dispersion and electron microprobe analysis. The probe data were corrected as ZAF using a computer program, and the results are given in page 295. The analysis gives the formula $Pt_{0.98-1.03}Cu_{0.81-0.97}As_{0.92-0.97}S_{2.00}$, which is close to the ideal formula $PtCuAsS_2$.

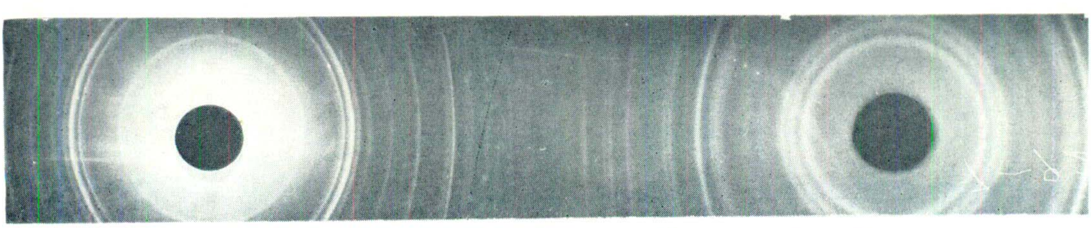
* Formerly yu Tsu-hsiang.



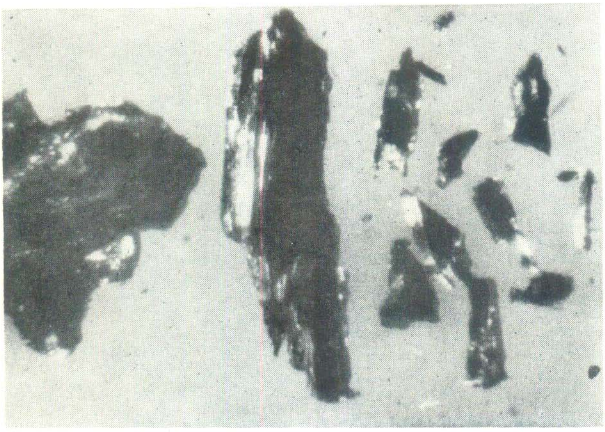
照片 2 道马矿 b 轴圆筒劳埃图 Cu 靶 35 kev 暴光 3 小时



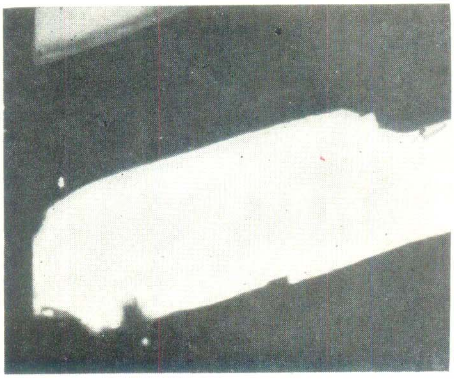
照片 3 道马矿 X 光粉晶 CuK_{α} ϕ 57.3 mm 暴光 17 小时 张汉卿摄



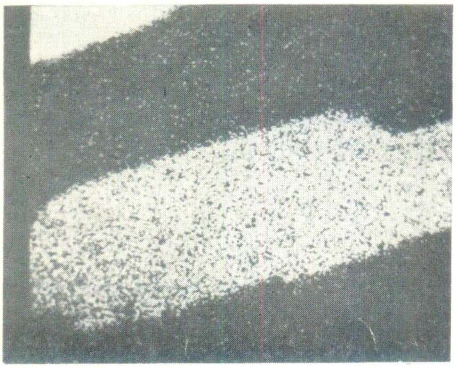
照片 4 道马矿 X 光粉晶 FeK_{α} ϕ 57.3 mm 暴光 4 小时 朱小玲摄



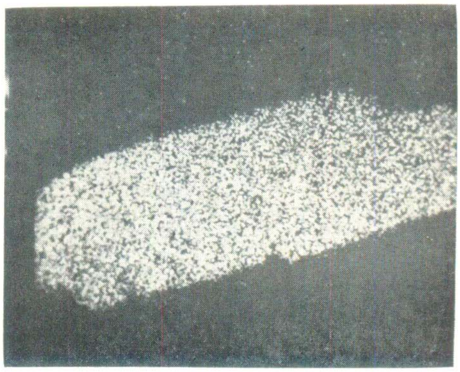
照片 1　道马矿晶体碎片(双目镜下)×50



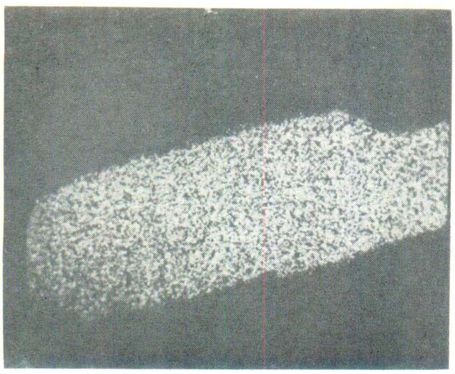
照片 5　道马矿吸收电子图象×300



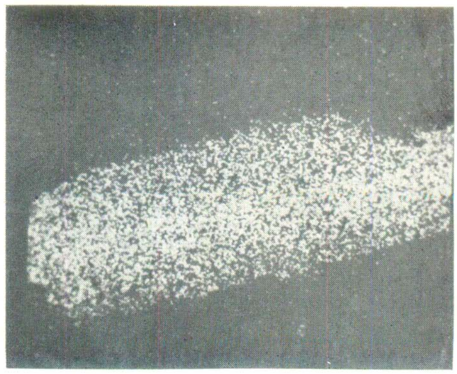
照片 6　CuK_α X-射线图象×300



照片 7　PtL_α X-射线图象×300



照片 8　AsK_α X-射线图象×300



照片 9　SK_α X-射线图象×300