

茅排金矿床中自然金和黄铁矿 的成因矿物学特征

徐海江 张凤云

赖绍聪*

(河北地质学院, 石家庄 050031) (中国地质大学, 北京 100083)

主题词 金矿床 自然金 黄铁矿 成因矿物学

提要 作者通过对新发现的茅排金矿的研究,测试了自然金、黄铁矿的物理性质、化学成分等,并论述了成因矿物学特征。文中指出自然金、黄铁矿在矿体垂向上晶体形态的分布规律,利用形态系数计算公式可判断矿体、矿带的延伸方向和剥蚀程度。并指出,明金常见,自然金成色高,矿石中贫硫化物,黄铁矿中金品位高、Sb、Hg 极低、无 As, Co/Ni 比较稳定、晶胞参数和红外吸收峰偏大等是“茅排式”金矿床的特点。

茅排金矿床的矿石建造主要为少硫化物-石英-自然金组合。通过大量人工重砂分析,还发现有磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、磁铁矿、石榴石、磷灰石、辉钼矿、锆石、电气石、独居石、褐铁矿、硅线石、蓝晶石等。自然金、黄铁矿的某些特征反映矿床的形成条件,揭示找矿信息,为矿床远景评价提供判据。在茅排金矿床中,常可见到明金。将矿石粉碎,用瓷碗淘洗,则可见到微粒金。在风化残积土中,也可淘出金粒,大者如辣椒籽大小。在开采坑道中,见到大于18g的金粒。在富矿石中,发现有豌豆大小的金粒,大于3g的金粒屡见不鲜。明金常见是茅排金矿的特点之一。

1 自然金的特征

1.1 晶体形态

茅排金矿中的自然金一般为粒状、片状、也可见到树枝状自然金。偶尔发现长柱状、柱状、八面体、八面体+立方体和八面体+立方体+菱形十二面体的聚形(表1)。自然金常与石英、黄铁矿、闪锌矿、黑云母等呈包裹、穿插、镶嵌、连生等产出关系。自然金的晶体形态从深部到浅部可出现五种类型: I型——{110}; II型——{111}; III型——{111}+{100}; IV型——{110}; V型——{hk0}。对同一矿带3个梯段坑道样品(下段90—23号样,中段90—28号样,上段90—53号样,每个样重50kg)的自然金晶体形态的统计结果见表2。

根据自然金晶体形态参数计算公式^[1]:

$$X_{Au} = (2C_{\text{V}} + C_{\text{IV}}) - (C_{\text{II}} + 2C_{\text{I}})$$

* 参加本文研究工作的还有刘晓东和研究生杨沛宇、喻佑华等。
本文于1992年4月15日收到,1993年5月11日改回。

表 1 石英脉人工重砂样品中自然金形态特征

Table 1 Morphological features of native gold in panned samples of quartz veins

K-44	一般呈片状、磨圆粒状, 也见各种不规则状者, 如树枝状, 大小0.2—0.4 mm。可见自然金穿插生长在石英中的现象。数量较多。
K-1-2	粒状晶形, 见到一颗发育不太完好的八面体晶体, 大小0.2 mm±。粒度一般为0.05—0.1 mm。数量较多。
TC-44	粒状、片状晶形。粒度0.2—0.5 mm, 小于0.1 mm者也常见。数量较多。
K-34	呈薄片状、片状、珊瑚礁状, 表面不平整, 可见与石英连生的现象。粒度0.2 mm左右。数量较多。
K-10	不规则状、片状。数量很少。
K-4	板状晶形, 片状常见。大者粒度0.2—0.5 mm, 一般为0.05 mm左右。数量较少。
0-9	粒状晶形, 数量很少。其中见到一颗晶面发育较好的小晶体, 为菱形十二面体与八面体的聚形, 大小为0.1 mm左右。

表 2 含金石英脉中自然金的晶体形态

Table 2 Crystal forms of native gold in auriferous quartz veins

样号	形态类型	晶体形态数量					晶体形态百分含量				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
90-23		8	2	6	0	4	40	10	30	0	20
90-28		1	1	0	0	0	50	50	0	0	0
90-53		2	3	0	1	1	29	43	0	14	14

式中: X_{Au} ——自然金晶体形态参数值;

C_V 、 C_{IV} 、 C_{II} 、 C_I ——自然金 V、IV、II、I 型的百分含量。

将表 2 中的晶体形态百分数代入上式, 得出 90-23 号样的晶体形态参数 $X_{Au} = -50$, 90-53 号样 $X_{Au} = -59$ 。矿体深部自然金 $X_{Au} \approx -100$ 或更小 (表明 V 型占优势)。以上两样品自然金晶体形态参数变化在 -50—-59 之间, 说明该矿体受剥蚀程度较深, 但还有近半数矿体被埋藏, 矿床深部尚有一定远景。从表 2 得知, 茅排金矿床自然金晶体形态以 I 型、II 型为主, 表明该金矿床品位较高。

一般认为, 产于深部的矿体, 其自然金的晶形较好, 产于浅部的矿体, 其自然金的晶形较差, 甚至呈他形粒状、片状、丝状及不规则状等。可以判断, 茅排金矿床在成矿早期形成于深部矿体, 位于韧性剪切带的中、深部, 到成矿晚期形成于浅部矿体, 位于脆性剪切带中。

1.2 成分特征

茅排金矿床自然金的化学成分除 Au、Ag 外, 还含有 9 种杂质元素: Bi、Cu、Fe、Ni、Pd、Sb、Cr、Pb、Si。具有标型性的元素 As 在本区自然金中没有发现, 这是有别于类似

金矿床的特点。本区自然金中的 Au 与 Ag 呈良好的负相关，相关系数为 -0.9300；Au 与 Cu 呈弱负相关，相关系数为 -0.3988；Au 与 Fe 也呈负相关，相关系数为 -0.8202。

茅排金矿床人工重砂中的自然金电子探针分析结果，自然金的成色为 904—999，平均为 965.27（11 个样品均值）。据孟祥本用比重瓶法测定茅排自然金的密度为 $18.4284\text{g}/\text{cm}^3$ ，换算为金的成色为 954.839。银含量为 0.00—8.63%，平均为 2.80%。铜含量为 0.02%—0.31%，平均为 0.12%（表 3）。自然金成色高，表明金矿床形成深度大、地质时代老。茅排金矿床 11 个样品的自然金取自早、中期矿化阶段。根据早期矿化阶段较晚期矿化阶段成色高的认识，可以解释茅排自然金成色高的原因。茅排金矿床遭受较强烈的变质和韧性剪切作用，导致金的成色提高。

表 3 茅排金矿床人工重砂中的自然金电子探针分析

Table 3 EMP analyses of native gold in panned samples of the Maopai gold deposit

样号	分析结果 (%)												成色
	Au	Ag	Bi	Cu	Fe	Ni	Pd	Sb	Cr	Pt	Si	Σ	
JQK-1-2	89.62	8.06	6.37	0.02	0.13	0.09	0.17	0.02	0.04	0.08	0.57	99.16	904
JQK-4	97.16	2.20	0.06	0.10	0.03	0.08	0.13	0.13	0.03	0.49		100.46	967
JQ-0-9	98.15	1.37	0.46	0.31	0.04				0.02			100.35	978
JQK-10	94.78	4.42	0.06	0.08	0.01	0.03			0.08	0.08		99.64	952
JQL-34	90.80	8.63	0.23	0.11		0.05	0.23	0.10	0.05	0.17		100.36	905
TC-44	98.12	0.64	0.56	0.07		0.08		0.15	0.04	0.39		100.05	981
JQK-44	99.42	0.10	0.11	0.09	0.07					0.08		99.87	995
90-23-1	97.55	3.29		0.13	0.04							101.01	966
90-23-2	100.33	0.00		0.08	0.00							100.41	999
90-23	98.68	0.88		0.24	0.05							99.85	988
90-35	98.61	1.51		0.14	0.04							100.29	983

测试者：江西地矿局实验测试中心 欧阳菲、潘法忠，1990。

1.3 金的成矿年龄

为解决金的成矿年龄问题，在富矿石中选取了与自然金共生的石英样品。采用铷-锶等时线法，测定石英中流体包裹体的铷锶年龄，其结果见表 4、图 1。自然金的近似成矿年龄

表 4 与自然金共生的石英中流体包裹体铷锶等时线年龄测定结果

Table 4 Rb-Sr isochron dating of fluid inclusions in gold-associated quartz

样号	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 1\sigma$
90-54	3.7886	4.809	2.2763	0.730171	0.0001
90-61	0.3158	1.2089	0.75725	0.728038	0.00004
90-34	0.111	1.0667	0.30049	0.726576	0.00006

$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7264 \pm 0.0005$ $R = 0.981$ $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11}$ 年

测定者：宜昌地质矿产研究所 李华箴，1991。

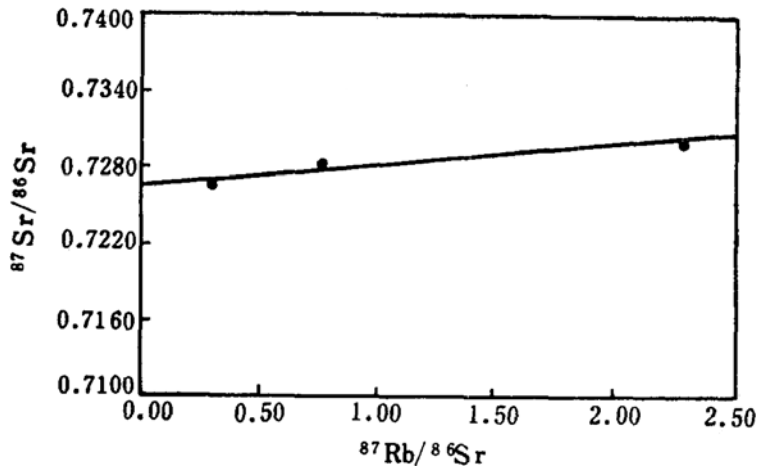


图 1 茅排金矿床含金石英中的流体包裹体 Rb—Sr 等时线图

Fig.1 Rb-Sr isochron diagram of fluid inclusions in auriferous quartz of the Maopai gold deposit

$T = 121 \pm 24 \times 10^6 \text{a}$, 该年龄相当于燕山晚期, 即早白垩世。其赋矿岩石黑云母片岩的年龄为 $391 \times 10^6 \text{a}$ (钾-氩法)。围岩与矿体的年龄差为 $270 \times 10^6 \text{a}$ 。地质研究表明^[2], 燕山晚期强烈的构造-岩浆作用在本区产生了大量的深源富金岩脉(煌斑岩等)。它们与壳内熔融的隐伏岩体相互作用^①, 形成含金岩浆热液和大量的流体包裹体。当含金岩浆热液沿脆性断裂带上升时, 对早期金矿化产生叠加富集, 从而形成富金石英脉和角砾状富金矿化。

2 黄铁矿的特征

2.1 形态特征

茅排金矿床黄铁矿的形态特征见表 5。其晶体形态统计结果见表 6 (取样位置同自然

表 5 石英脉人工重砂样品中黄铁矿形态特征

Table 5 Morphological features of pyrite in panned samples of quartz veins

K-44	晶形以不规则粒状为主, 其次为立方体, 约占 5%; 偶见立方体和八面体的聚形, 立方体晶形中聚形纹清晰可见。晶粒较粗大。
K-12	晶形良好, 以立方体为主, 可见立方体的贯穿双晶, 以及少量的立方体与八面体的聚形, 聚形纹可见, 晶体较粗大。
TC-44	晶形以它形粒状为主, 自形晶较少, 主要为立方体, 其它晶形少见, 粒度较细小。
K-34	可分为早、晚两期。早期较自形, 主要为立方体, 粒度较细小, 晚期呈它形粒状, 表面粗糙, 粒度较大, 有的与石英晶体紧密连生。
K-10	可见到完好的立方体和八面体聚形。数量较少。
K-4	一般为不规则粒状, 表面多不平整, 少见完好晶形, 粒度较小, 数量很少。
0-9	多为不规则粒状晶形, 表面不平整, 粒度细小, 数量少, 见到一颗完好的八面体晶体。

① 徐海江等. 茅排金矿类型及远景预测, 国家黄金局 89-A-3-3 项目, 1991.

金)。黄铁矿晶体形态复杂，多为他形粒状，自形晶少见，以五角十二面体为主，其次为立方体，八面体少见。从深部到浅部立方体黄铁矿呈逐渐减少的趋势，而八面体略有增加。利用黄铁矿晶体形态参数公式 $X_{Py} = (2C_V + C_{IV}) - (C_{II} + 2C_I)^{[3]}$ ，分别求出3个样品的晶体形态参数。90—53号样品采自上段坑道（122坑道），海拔412m，黄铁矿晶体形态参数 $X_{Py} = -18.5$ 。这表明矿体可开采部位处于中等偏深处。90—28号样，海拔309m，黄铁矿的晶体形态参数 $X_{Py} = -40$ 。表明矿体或开采部位也处在中等偏深处。但与90—53号样相比，更深些。90—23号样海拔304m，黄铁矿晶体形态参数 $X_{Py} = -43.5$ 。此值近似于富矿柱值。表明矿体可开采部位基本处于中等偏深处，并为富矿体。

表6 茅排金矿床黄铁矿的晶体形态

Table 6 Crystal forms of pyrite from the Maopai gold deposit

样号	形态 类型	晶体形态数量					晶体形态 (%)				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
90—23		41	20	111	21	7	20.5	10	55.5	10.5	3.5
90—28		36	37	102	11	9	18	18.5	53.5	5.5	4.5
90—53		24	25	127	12	12	12	12.5	63.5	6	6

注：每个样统计200个颗粒

3个样品的 X_{Py} 值从深到浅分别为-43.5、-40、-18.5。黄铁矿的晶体形态在矿带深部以立方体为主，在浅部以八面体为主。在中等深度上（海拔350m左右）以五角十二面体聚形为主。利用90—23和90—28号样的 X_{Py} 值计算三号矿带延伸深度和剥蚀深度为：

$$L = (X_{max} - X_{mix}) \times 100 / gh = 571.4m$$

$$L_b = (X_b - X_{mix}) \times (h_u - h_b) / (X_u - X_b) = 223.6m$$

$$L_u = (X_{max} - X_u) \times (h_u - h_b) / (X_u - X_b) = 342.9m$$

式中： L ——矿体整个垂向延伸长度；

L_b ——矿体内所测量的下部断面往下延伸的长度；

L_u ——上部断面往上延伸的长度；

gh ——晶体形态参数垂向变化的梯度；

X_b ——下部断面晶体形态参数值；

X_u ——上部断面晶体形态参数值；

h_b ——下部断面的标高 (m)；

h_u ——上部断面的标高 (m)；

X_{max} ——为+200 (V型占100%)；

X_{mix} ——为-200 (I型占100%)。

从以上计算结果可以看出，茅排金矿三号矿带目前被开采的部位处于矿体的中等偏深处，矿体的总延伸为571.4m，已被剥蚀300多米，还埋藏有200多米。目前，勘探钻孔在300m左右均见到矿体，证明这种计算结果的正确性。

2.2 成分特征

含金石英脉中的黄铁矿化学成分分析结果表明,黄铁矿的微量元素组合以Au、Cu、Co、Ni为主,Hg、Sb含量甚低,As一般不够检出限(表7)。这表明茅排金矿床的黄铁矿化学成分有自身的特点,含金韧性剪切带有其特殊性。据国家黄金局89-A-3-3项目(徐海江等)研究证明,该剪切带属于高温递进变质型脆韧性剪切带,为低As型剪切带。金矿床

表7 茅排含金石英脉中的黄铁矿化学成分和结晶化学式

Table 7 Chemical composition and crystal chemical formula of pyrite from auriferous quartz veins of the Maopai gold deposit

样号	元素 (%)											
	Fe	S	Au	Ag	Bi	Cu	Co	Ni	Sb	Mo	Pb	Sc
JQK-1-2	45.70	54.07	0.16	0.02		0.02	0.46	0.14			0	0
JQK-4	46.37	52.22	0	0	0.17	0.03	0.03	0.03	0.04	0.46	0.23	0
JQ-0-9	46.92	53.00	0.21	0.11	0	0.05	0	0.03	0	0.45	0	0.09
JQ-K-10	46.46	52.40	0.08	0.04	0	0.06	0.05	0.03	0.03	0.44	0.14	0
JQ-K-34	45.71	51.66	0.06	0	0	0.02	0.07	0.06	0.03	0.02	0.02	0
TC-44	45.77	52.76	0.10	0.01	0.29	0	0.04	0	0	0.40	0	0.20
JQK-44	46.19	53.00	0.16	0.06		0.02	0.21	0.16			0	0
90-23	46.11	53.68	0.02	0.00		0.04	0.03	0.02	0.05			
90-28	46.44	53.88	0.02	0.00		0.03	0.07	0.08	0.03			
90-53	46.01	52.53	0.02	0.00		0.03	0.19	0.18	0.00			
WH-2	46.40	54.19	0.06	0.00		0.03	0.06	0.00	0.05			

样品	元素 (%)				Σ	结晶化学式
	Tc	Zn	As	Hg		
JQK-1-2	0		0		100.56	(Fe _{0.9836} Co _{0.0001} Ni _{0.0012}) _{0.9858} S ₂
JQK-4	0	0.08	0		99.66	(Fe _{1.0195} Co _{0.0006} Ni _{0.0016}) _{1.0207} S ₂
JQ-0-9	0	0.07	0		100.94	(Fe _{1.0196} Co _{0.0000} Ni _{0.0006}) _{1.0162} (S, Sc) ₂
JQ-K-10	0	0.01	0		99.73	(Fe _{1.0180} Co _{0.0010} Ni _{0.0006}) _{1.0196} S ₂
JQ-K-34	0.05	0.05	0		98.26	(Fe _{1.0055} Co _{0.0015} Ni _{0.0013}) _{1.0183} (S, Tc) ₂
TC-44	0.03	0.10	0		99.71	(Fe _{0.9943} Co _{0.0008} Ni _{0.0000}) _{0.9951} (S, Sc, Tc)
JQK-44	0		0		99.81	(Fe _{1.0138} Co _{0.0008} Ni _{0.0025}) _{1.0165} S ₂
90-23			0.00	0.04	99.99	(Fe _{0.9864} Co _{0.0006} Ni _{0.01204}) _{0.9874} S ₂
90-28			0.00	0.02	100.57	(Fe _{0.9898} Co _{0.0014} Ni _{0.0016}) _{0.9928} S ₂
90-53			0.00	0.00	98.98	(Fe _{1.0061} Co _{0.0039} Ni _{0.0037}) _{1.0137} S ₂
WH-2			0.00	0.04	100.83	(Fe _{0.9831} Co _{0.0012} Ni _{0.0000}) _{0.9843} S ₂

测试单位:江西地矿局实验测试中心

Co/Ni比值在0.875—1.500之间变化,与已知研究资料对比,该值大体相当于沉积变质中温热液金矿床。茅排金矿床的矿石中的硫化物含量较少,其中黄铁矿含量也较少,但是,黄铁矿中的金含量较高(>200g/t)。在标高300—500m地段,黄铁矿中的金含量逐渐增高,铁原子数减少,钴和镍含量增高,但Co/Ni比值变化比较稳定。

2.3 红外光谱特征

茅排含金石英脉中黄铁矿的红外光谱图见图2。样品90-23、90-28、90-53是在垂向

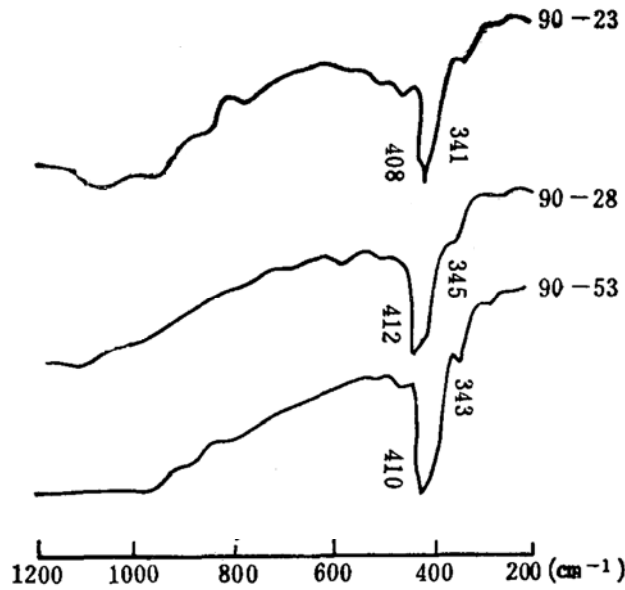


图 2 茅排含金石英脉中黄铁矿的红外光谱图

Fig.2 Infrared spectrum of pyrite from auriferous quartz veins of the Maopai gold deposit
(测试者：张凤云 1991)

上从下向上取的。3 个样品黄铁矿的特征吸收峰的波数偏大。标准黄铁矿的特征波数为 407 cm^{-1} 和 340 cm^{-1} 。而本区黄铁矿的特征波数为 $408\text{--}412\text{ cm}^{-1}$ 和 $341\text{--}345\text{ cm}^{-1}$ 。在矿床纵剖面上，从下向上黄铁矿的特征峰分别为 408 cm^{-1} 、 412 cm^{-1} 、 410 cm^{-1} 和 341 cm^{-1} 、 345 cm^{-1} 、 343 cm^{-1} 。本区波数增大的原因可能是 Co、Ni、Sb、Hg 等微量元素以类质同象形式进入黄铁矿所致。从下向上，Co+Ni 含量分别为 0.05%、0.15%、0.37%。

2.4 黄铁矿的晶胞参数 a_0 值

茅排金矿 90—23、90—28、90—53 样品中的黄铁矿晶胞参数 a_0 值见表 8。3 个样品的 a_0 平均值为 5.41825。本区黄铁矿的 a_0 值均大于黄铁矿的理论值 ($a_0 = 5.41700$)。这表明杂质进入黄铁矿，使 a_0 值增大。本区 3 个样品中的 90—53 号样金品位最高， a_0 值也大；90—23、90—28 号样金品位较低， a_0 值稍小。

表 8 茅排黄铁矿红外光谱特征峰、晶胞参数和 (Co+Ni) 含量

Table 8 Characteristic peak of infrared spectrum, cell parameters and (Co+Ni) content of pyrite from the Maopai gold deposit

样 号	特征峰 (cm^{-1})		a_0 (Å)	Co+Ni (g/t)
90—23	408	341	5.41828	500
90—28	412	345	5.41735	1500
90—53	410	345	5.41912	3710

测试者：张凤云等 1991

茅排金矿床与国内外同类型金矿床比较，既有相似性，又有明显的区别。初步研究认为，矿床成因类型为混合岩化变质热液型，矿石建造为少硫化物-石英-自然金型。其中自然金、

黄铁矿等具有明显的标型性,对评价判断矿体的延伸,评价矿床远景,提供新的找矿标志等具有实际意义。茅排金矿床的背景为高温的脆-韧性剪切带,但与已知的含金韧性剪切带有显著差别。地质研究表明,茅排金矿床有独特之处,故称“茅排式”金矿床。茅排式金矿床的发现和研究表明,在变质岩、混合岩带寻找新类型金矿床具有借鉴意义。

参 考 文 献

- 1 邵洁涟,金矿找矿矿物学.北京:中国地质大学出版社,1988.122—132.
- 2 徐海江,新发现的茅排金矿床.黄金科技动态,中国科学院,1991.10,29—31.
- 3 Евзикова Н З.Поисковая кристалло. морфология, М. Недра, 1984, С. 82—128.

Minerageny of Native Gold and Pyrite in the Maopai Gold Deposit, Jiangxi Province

Xu Haijiang, Zhang Fengyun

(Hebei College of Geology, Shijiazhuang 050031)

Lai Shaocong

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: gold deposit; native gold; pyrite; minerageny

Abstract

Based on the determination of physical properties and chemical composition of native gold and pyrite from the newly-discovered Maopai gold deposit, the present paper deals with minerageny of native gold and pyrite. Various crystal forms of gold and pyrite could be observed along the vertical section of the orebody, and the formula for morphologic parameters might be used to judge the downward extension and the denudation degree of the orebody and the ore belt. The “Maopai-type” gold deposit has some unique characteristics; ores are rich in gold and poor in sulfides; pyrite contains high gold (>200 g/t), very low Sb and Hg and no As, and has fairly stable Co/Ni ratios, somewhat large cell parameter a_0 , and high infrared absorption peak.