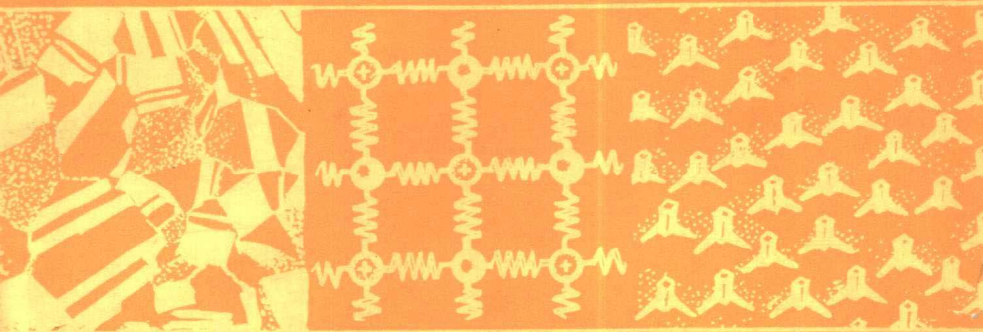
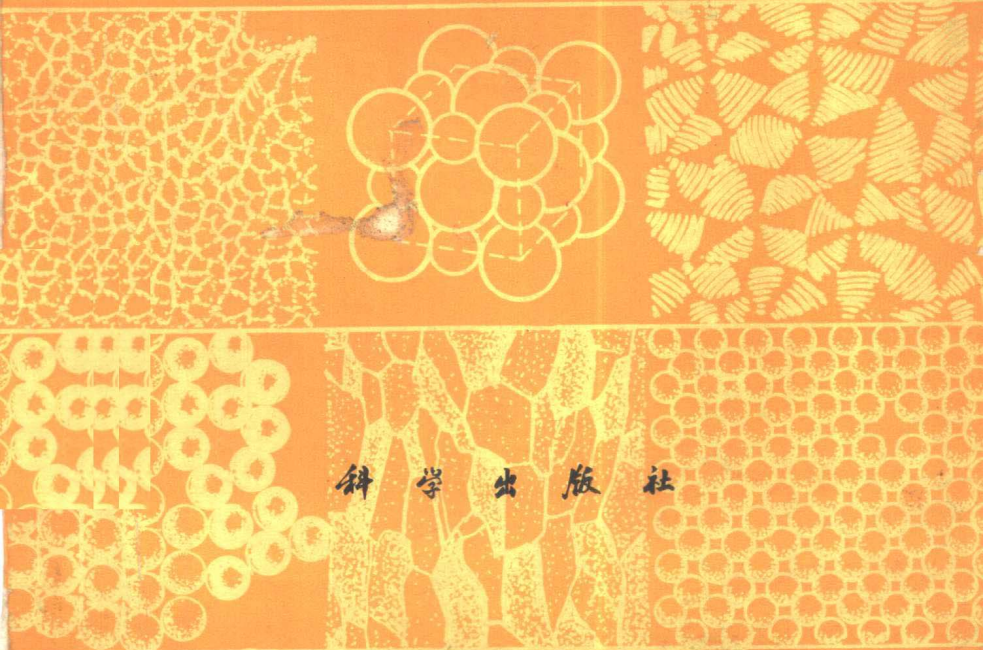


材料科学及测试技术丛书



光学金相摄影技术

田白玉 杨体强 编著



科学出版社



材料科学及测试技术丛书

光学金相摄影技术

田白玉 编著
杨体强

科学出版社

1983



内 容 简 介

金相摄影是冶金和机械工业以及其他研究、生产、使用金属材料各部门频繁应用的实验技术。本书介绍了光学金相摄影及其有关知识。书中包括：显微镜的基本知识，现代常用的光学金相显微镜，金相试样的制备，摄影材料及金相摄影，底片的处理和所用溶液的配制与配方，金相照片的洗印及金相摄影实践和效果分析等。叙述内容联系编者多年积累的经验，力求结合实际。

本书可供冶金、机械工业以及其他产业部门的金相工作者及有关学校金相专业师生参考。

光 学 金 相 摄 影 技 术

田白玉 杨体强 编著

责任编辑 顾锦梗

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983 年 2 月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1983 年 2 月第一次印刷 印张：7 1/8 插页：5

印数：0001—5,350 字数：157,000

统一书号：15031·475

本社书号：2961·15—2

定价：1.30 元

材料科学及测试技术丛书

出版说明

材料科学是现代技术的基础，是具有全局性的重要科学技术领域之一。在国民经济和国防现代化的进程中，往往由于在某些领域中材料的限制而受到影响。因此，必须发展材料科学和工程，促进材料工业为各个部门提供充足、优质、符合各种要求的产品。出版这套材料科学及测试技术丛书，目的在于促进科学技术人材的培养，为提高我国材料科研工作 and 材料生产的理论水平、技术水平服务。本丛书从内容上分为材料科学与测试技术两部分。材料科学部分主要介绍金属、非金属及其他新型材料的研究成果、原理与理论；测试技术部分主要介绍上述材料的宏观和微观组织与结构的观测技术，也介绍有关性能测试和过程机理。读者对象一般为从事材料科学的科研工作者和从事材料生产、应用和测试的工程技术人员以及有关专业的高等院校师生。在编写方法上，我们力求丛书能反映我国材料科学研究工作者和材料工程技术人员的实践经验与成就，以及他们在材料科学与工程技术方面的见解；同时也要反映国外的最新发展经验和成果。

通过丛书的出版，我们不仅期望对我国的材料科学与技术的发展能起到一定的推动作用，并且对材料科学与技术领域内的科技工作者有所启发，从而进一步写出反映我国科学技术水平和发展方向的专著，以满足广大读者的需要。

材料科学及测试技术丛书编辑委员会

1979年10月

科学出版社

材料科学及测试技术丛书

- | | |
|---------------|--------------|
| 电子衍射图在晶体学中的应用 | 郭可信、叶恒强、吴玉琨著 |
| 金属材料热力学 | 徐祖耀著 |
| 马氏体相变与马氏体 | 徐祖耀著 |
| 现代功能材料导论 | 温树林编著 严东生等审阅 |
| 铜中的非金属夹杂物 | 李代锺著 |
| 光学金相摄影技术 | 田白玉、杨体强编著 |

* * * * *

编辑委员会

主 编: 李 薰

副 主 编: 柯 俊 颜鸣皋

编辑委员: 冯 端 刘嘉禾 孙珍宝 师昌绪

许顺生 严东生 萧纪美 沈华生

李恒德 范 棠 柯 成 徐祖耀

钱人元 郭可信 郭慕孙 章守华

葛庭燧

: 中 :

前 言

金属学是一门技术科学,它研究金属和合金的晶体结构、显微组织,以及对它们的各种性能之间的影响。金相显微研究则在冶金、机械、国防等工业和其他有关技术方面有着广泛的应用,是一个不可缺少的重要检验手段。特别在目前新材料、新技术、新工艺、新设备不断地涌现和创新的情况下,导致对金相技术和金相摄影工作不断提出更高的要求。编者根据多年来的一些实践经验编写本书,书中的绝大部分照片,是在实际工作中摄取的,均采用国产材料,从而使本书内容得以反映国内一些实际情况。

本书在编写过程中,受到党组织的关怀和支持,同时得到第一拖拉机制造厂、冶金部钢铁研究总院、洛阳农机学院、机械工业部拖拉机研究所、洛阳矿山机器厂、曙光机械厂和机床厂、一机部轴承研究所、洛阳轴承厂以及河南柴油机厂等单位的帮助。

在编写过程中,邱淑娴、张意萱、罗序松、徐杏坤工程师和席聚奎副教授给予大力帮助和支持,最后蒙冶金部钢铁研究总院孙珍宝副总工程师多次审阅全稿,并对本书的修改提出了具体珍贵意见,编者在此对上述单位和同志表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中难免存在缺点和错误,热诚希望读者批评指正。

编 著 者

目 录

前言

第一章 显微镜的基本知识	1
一、光学基本知识	1
(一) 光	1
(二) 光的反射和折射	2
1. 光的反射定律	3
2. 折射定律	3
(三) 反射镜和稜镜	5
1. 反射镜	5
2. 稜镜	6
(四) 透镜	7
1. 凸透镜	7
2. 凹透镜	7
(五) 透镜的会聚和发散	8
1. 凸透镜的会聚	9
2. 凹透镜的发散	10
(六) 透镜的成象原理	10
1. 透镜成象的作图法	10
2. 透镜成象公式	11
(七) 透镜象差	13
1. 球面象差	13
2. 色差	14
3. 象域弯曲	15
二、光学显微镜的基本知识	15
(一) 显微镜的光学系统	16
1. 物镜	18

2. 目镜	25
(二) 显微镜照明系统	28
1. 光源	28
2. 滤光片	33
3. 可变光栏	35
4. 金相显微镜的照明器	40
(三) 机械系统	44
(四) 摄影机	46
第二章 常用的金相显微镜	47
一、光学显微镜的类型	47
(一) 台式金相显微镜	47
(二) 立式金相显微镜	48
1. 国产 XJL-01 型立式金相显微镜	54
2. McF 型显微镜	54
3. Nu 型显微镜	56
(三) 卧式金相显微镜	60
1. 国产 XJG-04 型金相显微镜	61
2. 西德 Leitz 的 MM-6 大型卧式金相显微镜	72
二、显微镜的调整	79
(一) 光源的调整	79
(二) 载物台的调整	80
三、金相显微镜的维护	81
(一) 金相显微镜的保管	81
(二) 金相显微镜光学元件的防霉及保养	82
第三章 金相试样的制备	85
一、试样的尺寸和切取	85
二、试样的镶嵌	87
(一) 机械镶嵌法	87
(二) 塑料或电木粉镶嵌法	87
(三) 化学凝固镶嵌法	88
(四) 边缘镀层法	89
三、试样的平整	89

四、试样磨光	90
(一) 手工磨光	90
(二) 机械磨光	94
(三) 蜡盘磨光	94
(四) MoS_2 盘磨光	95
五、试样的抛光	96
(一) 机械抛光	97
1. 抛光粉	99
2. 抛光机	101
3. 非金属夹杂物试样的制备	105
4. 球墨铸铁试样的制备	106
(二) 电解抛光	107
1. 电解抛光的优缺点	110
2. 电解抛光的装置和操作	111
3. 电解抛光时应注意的事项	112
(三) 化学抛光	113
1. 化学抛光的原理	113
2. 化学抛光的目的和意义	114
3. 化学抛光溶液	115
六、金相试样腐蚀	117
(一) 化学腐蚀法	117
1. 化学腐蚀原理	117
2. 化学腐蚀剂	120
3. 化学腐蚀的方法	125
(二) 电解腐蚀法	128
第四章 金相摄影及感光材料	130
一、感光材料	130
(一) 感光片的组织结构	130
1. 保护膜	130
2. 乳剂膜	131
3. 结合膜	131
4. 片基	132

5. 防光晕膜	132
(二) 感光片的种类和用途	133
1. 色盲片	134
2. 分色片	134
3. 全色片	135
(三) 感光片的性能	135
1. 速度	135
2. 反差性	136
3. 宽容度	137
4. 分析能力	138
(四) 感光片的类型及使用注意事项	138
1. 感光片的类型	138
2. 使用感光片注意事项	139
二、金相摄影	139
(一) 曝光	140
1. 光源照明强度的影响	140
2. 光圈大小的影响	141
3. 感光片的影响	142
4. 金相组织的影响	142
5. 放大倍数高低的影响	142
(二) 摄影放大倍数的选择	144
(三) 摄影程序和注意事项	147
第五章 显影底片(负片)的处理及溶液配制	148
一、各种溶液的配制	148
(一) 水的作用和影响	148
(二) 显影液的成分和作用	150
1. 显影剂	150
2. 保护剂	152
3. 促进剂	153
4. 抑制剂	154
(三) 配制显影液时的注意事项	155
(四) 配制显影液时常见的疵病	156

(五) 各种显影液配方.....	157
1. 普通显影液	157
2. 微粒显影液	168
(六) 停影与坚膜液.....	173
1. 停影液的配方	173
2. 坚膜液的配方	173
(七) 定影液.....	173
1. 定影的意义	173
2. 定影液的组成	174
3. 药品的性能	174
4. 配制定影液应注意事项和易发生的问题	175
5. 定影液的配方	175
二、底版(负片)处理	178
(一) 显影.....	178
1. 显影的原理	178
2. 底片的显影冲洗	178
3. 影响显影的因素	181
4. 如何获得较佳反差的形象	182
5. 怎样识别显影后影像的质量	183
(二) 停影与坚膜.....	183
1. 停影	183
2. 坚膜	184
(三) 定影.....	185
1. 浓度的影响	185
2. 温度的影响	186
3. 时间的影响	186
(四) 水洗和凉干.....	187
1. 水洗	187
2. 凉干	188
第六章 金相图片的洗印	189
一、照相纸	189
(一) 照相纸的组织结构.....	190

1. 保护膜	190
2. 乳剂膜	190
3. 含钡膜	190
4. 纸基	190
(二) 照相纸的性能及选择	191
1. 1 号相纸的特性及用途	191
2. 2、3 号相纸的特性及用途	191
3. 4、5 号相纸的特性及用途	192
(三) 照相纸的保管	192
二、印相操作	192
(一) 印相机	193
(二) 印相操作	195
(三) 相纸和负片的配合	195
(四) 印相时的注意事项	196
(五) 相纸的冲洗	197
1. 显影	197
2. 停影	197
3. 定影	197
(六) 水洗和烘干	197
1. 水洗	197
2. 烘干	198
第七章 金相摄影实践和效果分析	205
一、底片的缺陷及其原因	205
二、相片的缺陷及其原因	207
三、金相图片效果分析	211

第一章 显微镜的基本知识

一、光学基本知识

(一) 光

通常的光是指人眼可见部分的电磁波,这部分电磁波,我们也可称它为光波。在自然界里,有些物体能够发光,凡能发光的物体叫做发光体,通常也叫做光源。光源分为天然光源和人造光源两种。光学金相摄影所应用的光,一般来说都是人造光源。

根据波动理论,光波在真空或均匀介质中是作直线传播的,我们称它为光线或光束。光波波长极短,传播的速度极高,在真空中每秒钟达三十万公里。光波的波长是指两波峰的间距,如图 1-1 所示。波长的单位为埃,用 $\text{\AA}$ 来表示 ($1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ 厘米)。人眼可见的光中,红色光的光波波长,约为 $7000 \text{ \AA}$;紫色光的光波波长较短,约 $4000 \text{ \AA}$ 。人眼可见光只是全部电磁波中非常小的一部分。红色波长以外的为红外线,紫色波长以外的为紫外线,这两部分人眼都看不见。太阳的白光,实质上是由若干单色光所组成的复合光。白色的光束穿过三棱镜后,可分解为从红到紫的许多带色彩的光。这种现象叫做光的色散。组成各种带颜色的光景叫做光谱。

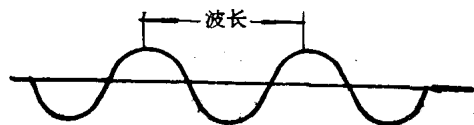


图 1-1 波长

图 1-2 为白色光通过稜镜的色散现象。

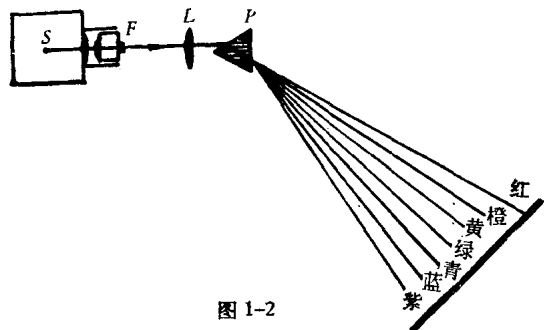


图 1-2

S. 白色光源; F. 聚光镜; L. 透镜; P. 稜镜

由图 1-2 可以看出白光是有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等色光组成的。这七种色中每个单色光都有它一定的波长，各色光线的波长值约如下述：

紫色	4000~4300 Å
蓝色	4300~4600 Å
青色	4600~4900 Å
绿色	4900~5500 Å
黄色	5500~5900 Å
橙色	5900~6300 Å
红色	6300~7000 Å

(二) 光的反射和折射

按照研究光的特性和传播方式，光学分为几何光学和物理光学两部分，在显微镜中应用几何光学较多。从光经过最简单的稜镜、透镜到万能（多用）大型光学金相显微镜，都是依据几何光学定律而设计的。其基本定律如下：

- 光线在各向同性的均匀介质中是直线传播的。
- 光线在各向同性的均匀介质中，两条光线相交，在相交后可以继续传播而互不影响。

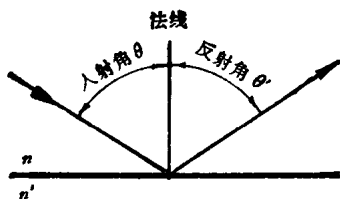
c. 光线射在不同的介质面上其方向发生改变 遵守 折射定律、反射定律。

1. 光的反射定律

(1) 入射线、反射线、法线都在一个平面上；

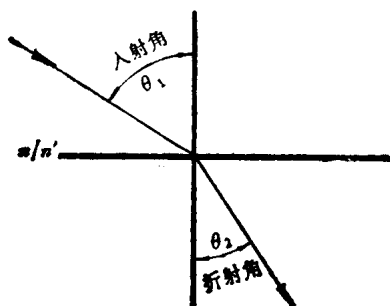
(2) 入射角 θ 等于反射角 θ' 而它们分别在法线的两边。
其反射定律有如下关系式：

$$\theta = \theta'$$



2. 折射定律

(1) 入射线、折射线、法线都在同一个平面上；



(2) 光在不同介质中的传播速度各不相同。在光密介质中速度慢，在光疏介质中速度快；在真空中速度最快，约 300,000 公里/秒 (3×10^{10} cm/s)。在折射时，入射角 θ_1 的正弦和折射角 θ_2 的正弦之比等于光在两种介质中传播速度之比：

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2} = n_2 = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

式中 V_1, V_2 为光在两种介质中的传播速度， n_2 为第二种介质对第一种介质的折射率， n_1, n_2 分别为两种介质对真空的折射

率,也叫做介质的折射率.例如:光由空气射入某种玻璃内,入射角为 40° ,入玻璃后的折射角为 25° ;光在空气和玻璃中的传播速度分别为 300,000 和 200,000 公里/秒,则玻璃对空气的折射率,根据公式(1)为:

$$\begin{aligned} n_{21} &= \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\sin 40^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{0.643}{0.423} = 1.5 \\ &= \frac{V_1}{V_2} = \frac{300,000}{200,000} = 1.5 \\ &= \frac{n_2}{n_1} \end{aligned}$$

其中 n_2, n_1 为玻璃及空气对真空的折射率.实际上,空气的折射率略大于 1,通常可近似地认为是 1,根据上列计算, $n_1 = 1$, 则 $n_2 = n_{21} = 1.5$,亦即玻璃的折射率为 1.5. 另外,由(1)式可以得出:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$

式(2)亦即第一种介质的折射率与入射角正弦的乘积等于第二种介质的折射率与折射角正弦的乘积,它们是一个恒量;如

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1 \times \sin 40^\circ = 1.5 \times \sin 25^\circ$$

$$1 \times 0.643 = 1.5 \times 0.423 = 0.643$$

在此需要指出,光的折射是可逆的,光线从光疏介质进入光密介质时,折射角小于入射角;反之,光线从光密介质进入光疏介质时,则折射角将大于入射角.在此种情况下,当折射角超过 90° 时,光线将不能穿过两介质的界面而进入光疏的介质.在此种情况下,将发生全反射现象,即光线将遵守反射定律,以两介质的界面为反射面而被反射回光密的介质中.以光由玻璃射入空气为例,使折射角为 90° ,则

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1.5 \sin \theta_1 = 1 \times \sin 90^\circ = 1$$

$$\sin \theta_1 = 1/1.5 = 0.6667$$

$$\theta_1 = 41^\circ 49'$$

亦即光线由玻璃射入空气中时,当入射角小于 $41^\circ 49'$ 时,光线可被折射进入空气;但当入射角大于 $41^\circ 49'$ 时,光线将按照反射定律,在界面发生全反射,而不能进入空气。此发生全反射时的入射角叫做临界角。

(三) 反射镜和棱镜

1. 反射镜

反射镜是显微镜的光学元件之一。它的作用是改变光的方向。

反射镜有平面反射镜、球面反射镜和非球面反射镜等等(按光的透射程度又分为:全反射镜和半反射镜两种)。在金相显微镜的光学系统中,经常采用平面反射镜,它的优点是重量轻(和棱镜比较)。由于它的厚度较薄,因而制造精度要高,否则要产生双象差、色差和其它象差。对于显微镜和精密的光学仪器来讲,都往往应用平面反射镜使光束改变方向,如图1-3a、b所示。

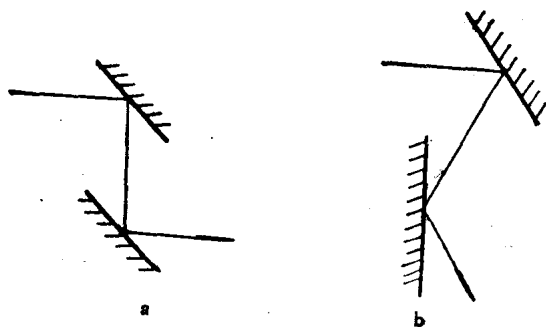


图1-3 平面反射镜