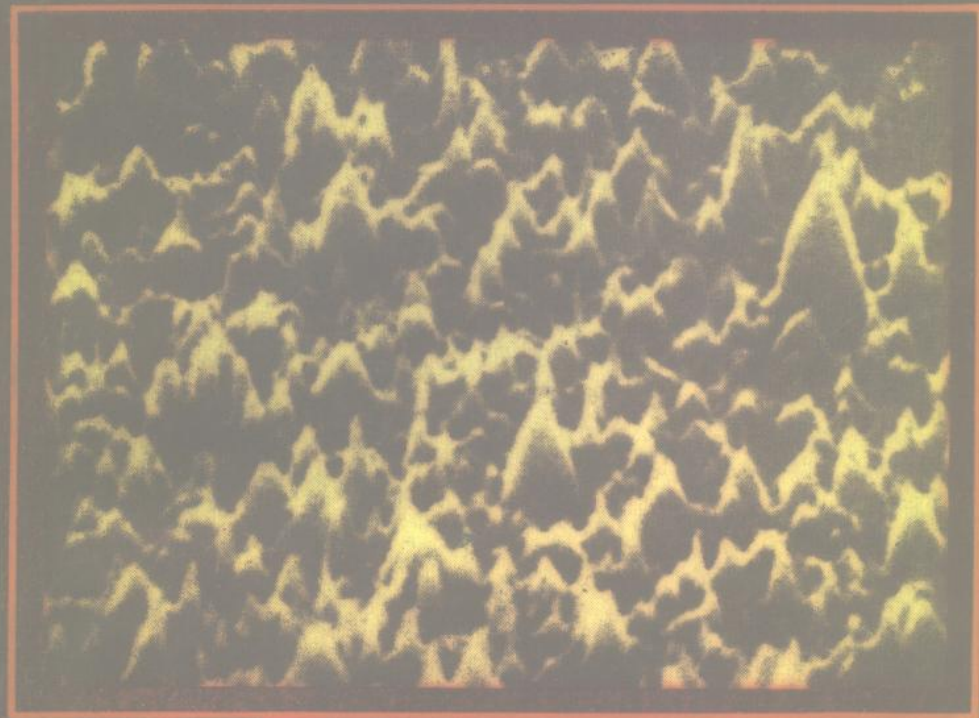




薄膜加工工艺

●〔美〕J. L. 沃森 W. 克恩 等著

机械工业出版社

薄膜加工工艺

〔美〕 J. L. 沃森 W. 克恩 等著

〔美国普林斯顿 RCA 实验室〕

刘光诒 译



机械工业出版社

本书是在美国 RCA 实验室支持下,由专家们集体编写的一本内容较新、较全,系统性较强的著作。

书中系统地介绍了各种先进的薄膜沉积与加工方法。从加工的角度出发,紧紧围绕基础学科,深入剖析。提出了较新颖的分类法。提炼出了许多极有用的图例与曲线。对当前常用的或成熟的方法;作了精辟的归纳与提高(如湿法腐蚀、溅射等)。对于不太成熟的方法,着重综述、分析与评议,并展示了若干公司内部尚未公开的研究装置结构图。此外,本书兼顾了材料科学的方法,详细地总结了各类薄膜材料的获得、性质、分析研究方法与图形的加工技术。

本书可供科研部门、生产部门和工厂的技术人员,有实践经验的工人及高校、中专的师生参考。

THIN FILM PROCESSES

JOHN L. VOSSSEN WERNER KERN

ACADEMIC PRESS

1978

* * *

薄膜加工工艺

[美]J. L. 沃森 W. 克恩 等著

刘光治 译

*

责任编辑:周科君

封面设计:方 芬

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南路一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $17\frac{3}{4}$ · 字数 469 千字

1987年3月北京第一版·1987年3月北京第一次印刷

印数 0,001—1,900 · 定价:5.35 元

*

科技新书目:141—108

统一书号:15033·6620

序 言

近年来,薄膜沉积与腐蚀科学技术得到了显著的进展。编写本书的目的是从加工的观点出发,将选择薄膜沉积工艺、选择薄膜腐蚀工艺的权威性意见统一汇编在一起。侧重点放在各种工艺方法的实际应用。作为一本工具书,为操作这些工艺方法提供指导意见。同时,它也是一本参考文献资料的手册。并对每一种工艺作了综述。

我们感到,出版这类书籍必须要有新见解。对近期提出的或者从未评论过的工艺提出一些看法。并在此过程中,取得较大进展。我们希望,本书能对期望了解某一项工艺、或希望了解整个工艺概况的人会有所帮助。同时,对使用这些工艺的专家们也有用处。

本书是1977年年底完成的,里面几乎搜集了至今为止所有公开发表过的文献。而且,我们对书中所谈到的大部分工艺,都进行过积极的研究。我们希望,这次的探讨和发展将能够阐明一些目前尚无答案的问题,并使读者对薄膜工艺能够作出更合理的选择,获得更正确的使用方法。

最后,在此感谢对本书作出了贡献的作者,感谢他们在自己专业领域中总结了大量文献,作出的巨大努力。感谢 RCA 实验室在科学出版方面的帮助。

目 录

序言

第 I 部分 概论	1
I-1 本书的组织	1
I-2 其他薄膜沉积方法	2
参考文献	3
第 II 部分 沉积薄膜的物理方法	6
II-1 辉光放电溅散沉积	6
I 概论	6
II 离子轰击表面时的物理作用与化学作用	8
A 中性粒子的发射——溅散率	8
B 其他粒子的发射	9
C 射线的辐射	14
D 离子注入	14
E 表层的变化与扩散	14
F 离解过程	16
G 化学溅散	17
III 辉光放电	17
A 直流辉光放电	17
B 低频交流辉光放电	21
C 射频辉光放电	21
D 维持放电的方法	24
IV 装置的结构	25
A 靶的装配	25
B 功率源	27
C 仪表与控制装置	30
D 衬底加热	31
E 壁损耗	33
F 屏蔽与挡板	33
G 偏置溅散与离子镀用的沉积源	33
H 按比例扩大问题	34

IV

V	靶、衬底及薄膜沉积系统的预处理	34
A	靶材料	35
B	靶的预溅射	35
C	衬底的溅散腐蚀	36
VI	溅散用气体	39
A	气态物质、气压及气流的影响	39
B	气体污染源	41
C	溅散除气	41
D	反应溅散	42
VII	离子轰击衬底与薄膜生长同时存在情况下的沉积	47
A	等离子体, 悬浮及偏置电位	47
B	气体的结合与解吸	53
C	膜的化学组分	54
D	薄膜的物理性质	55
VIII	沉积速率与均匀度	55
IX	结论	56
	参考文献	56
I-2	圆柱形磁控溅散	68
I	概论	68
II	工作原理	72
A	辉光放电的基本参量	72
B	单粒子运动	73
C	迁移与扩散	75
D	等离子体壳层	76
E	等离子体波及其稳定性	78
F	冷阴极放电	79
G	轴向磁场中同轴圆筒间的放电	80
H	电子阱的形成	82
I	阳极的考虑	82
III	圆柱形磁控装置	83
A	圆柱形磁控器	84
B	圆柱形空心磁控器	85
C	尾部矫正	86

D	磁性材料	87
E	阴极制造	87
IV	等离子体放电	87
V	射频工作	91
VI	腐蚀分布与沉积分布	93
A	腐蚀分布	93
B	沉积分布	94
VII	涂层沉积	97
A	衬底环境	97
B	工作参量对涂敷特性的影响	99
VIII	反应溅散	100
IX	结论	102
	参考文献	103
I-3	溅散枪与S枪磁控器	107
I	概论	107
II	描述	107
III	工作特性	110
IV	偏置工作	114
V	薄膜沉积	118
VI	结论	121
	参考文献	121
I-4	平面磁控溅散	122
I	概论	122
II	直流平面磁控溅散	124
A	系统结构	124
B	厚度均匀度控制	133
C	电压、电流及压强的关系式	139
D	沉积速率	141
E	衬底上的各种效应	147
F	电源	151
G	其他技术	153
III	射频平面磁控溅散	154
A	射频与直流平面磁控溅散的比较	155

V

B	功率密度, 直流自偏置及压强之间的关系	155
C	速率限制与速率控制	156
D	电源与匹配网络	157
E	沉积速率	157

N	应用	158
A	工业涂敷	158
B	薄膜电子学	158
C	其他应用	161

V	结论	162
	参考文献	162

I-5	离子束沉积	165
-----	-------------	-----

I	概论	165
---	----------	-----

I	离子束产生	167
---	-------------	-----

A	离子的产生	167
---	-------------	-----

B	离子源	167
---	-----------	-----

C	束流的抽取与控制	173
---	----------------	-----

D	对系统的要求	177
---	--------------	-----

E	束性能测量	179
---	-------------	-----

II	二次离子束沉积	179
----	---------------	-----

A	源特性与束特性	180
---	---------------	-----

B	靶上的过程	181
---	-------------	-----

C	膜的性能	184
---	------------	-----

D	反应离子束溅散	187
---	---------------	-----

N	一次离子束沉积	190
---	---------------	-----

A	沉积系统	190
---	------------	-----

B	束的能量范围	191
---	--------------	-----

C	束的尺寸界限	193
---	--------------	-----

D	膜的性能	193
---	------------	-----

V	结论	196
---	----------	-----

	参考文献	197
--	------------	-----

第III部分	沉积薄膜的化学方法	200
--------	-----------------	-----

III-1	无机膜的溶液沉积	200
-------	----------------	-----

I	概论	200
---	----------	-----

I 化学反应沉积	200
A 均相化学还原	200
B 自催化化学还原(化学镀)	203
C 非导体的自催化化学还原	210
D 转化涂敷	212
E 置换沉积	218
II 电化学反应沉积	221
A 电沉积	221
B 法拉弟定律	222
C 电镀参量	223
D 电极电位	226
E 电极动力学	231
F 主要工艺参量总结	234
G 合金镀原理	235
H 电沉积涂层及其用途	238
I 非水溶液电沉积	242
J 阳极氧化	244
IV 结论	248
参考文献	249
II-2 无机薄膜的化学气相沉积	251
I 概论	251
II CVD的基本问题	252
A CVD 化学	252
B CVD 热力学	257
C CVD 动力学	260
D CVD 内的输运现象	264
E 低气压 CVD原理	267
F 薄膜生长方面的问题	269
III CVD 反应器系统	271
A 一般要求	271
B 低温CVD 反应器	272
C 高温CVD 反应器	276
D 低气压CVD 反应器	280

E CVD 工艺的控制	282
Ⅳ 绝缘体的 CVD	284
A 概论	284
B 单一氧化物	285
C 混合氧化物与硅酸盐玻璃	289
D 氮化物与氮氧化物	293
E 一种CVD工艺的实例	298
Ⅴ 半导体的 CVD	306
A 概论	306
B Ⅳ族半导体	307
C Ⅲ-Ⅴ族化合物半导体	309
D Ⅱ-Ⅵ族化合物半导体	310
E 各种化合物半导体	311
Ⅵ 导体的 CVD	313
A 金属与合金的一般性反应	313
B 钨膜	313
C 其他金属与合金膜	314
D 超导体	315
E 透明导电体	315
Ⅶ 其他材料的 CVD	316
Ⅷ 结论	318
参考文献	318

第Ⅳ部分 沉积薄膜的物理化学方法

Ⅳ-1 无机薄膜的等离子体沉积	331
I 概论	331
Ⅱ 实验装置与技术	332
A 等离子体的主要参量	332
B 对沉积系统的要求	333
Ⅲ 无机薄膜的沉积	338
A 氮化硅	338
B 氧化硅与氮氧化硅	346
C 碳化硅	350
D 硅与锗	351

E 其他氧化物	352
F 其他薄膜	353
IV 结论, 应用与前景	354
参考文献	355
IV-2 辉光放电聚合	357
I 概论	357
I 辉光放电聚合的特征	358
A 辉光放电聚合	358
B 辉光放电中形成聚合物的各种机构	359
II 辉光放电聚合的工艺因素	363
A 放电模式	364
B 气流速率	365
C 系统压强	366
D 放电功率	368
E 反应器的几何因子	372
IV 有机化合物的辉光放电聚合	374
A 碳氢化合物	374
B 含氮化合物	375
C 含氟化合物	376
D 含氧化合物	376
E 含Si化合物	376
F 含其他元素的化合物	377
V 辉光放电聚合与工艺因素的关系	377
A 聚合物沉积的速率	377
B 沉积的聚合物的分布	379
C 聚合物的性质	387
参考文献	392
第V部分 腐蚀工艺	395
V-1 化学腐蚀	395
I 概论	395
II 腐蚀原理与技术	396
A 腐蚀过程中的化学	396
B 影响腐蚀反应的各种因素	397

C	腐蚀技术与腐蚀工艺	398
D	薄膜图形轮廓腐蚀	401
E	表面污染与表面洁净技术	404
II	特种材料的化学腐蚀	407
A	绝缘体与电介质	407
B	半导体	423
C	导体	429
D	其他材料	430
IV	腐蚀剂与腐蚀条件一览表	430
A	使用下列表格的规定	430
B	绝缘体与电介质	432
C	元素半导体	435
D	化合物半导体	450
E	导体	462
F	其他材料	479
V	结束语	481
	参考文献	481
V-2	为图形刻蚀用的等离子体辅助腐蚀技术	496
I	概论	496
II	低压等离子体内的物理现象与化学现象	497
A	概论	497
B	等离子体产生法	499
C	分子态气体放电中的化学反应	499
III	腐蚀装置设计(等离子体腐蚀系统)	505
IV	工艺参数	511
A	控制离子腐蚀速率的各种因素	511
B	控制等离子体腐蚀速率的各种因素	525
V	图形边缘的剖面轮廓	537
A	离子腐蚀	539
B	等离子体腐蚀	544
VI	等离子体辅助腐蚀的优缺点	549
	参考文献	555

第 I 部分 概 论

J. L. 沃森

I - 1 本书的组织

本书选评的工艺方法分为四大类：（1）沉积薄膜的物理方法；（2）沉积薄膜的化学方法；（3）沉积薄膜的混合法（即物理-化学方法）；（4）图形复制技术。

本书第 I 部分涉及主要的物理沉积方法：选评的都是溅散技术。I - 1 讲常规溅散，也包含有溅散靶材的动力学问题，后者在其他章节中也将介绍。此外，这一章所提供的辉光放电，及放电对衬底的影响等素材，不仅在溅散章节中有用，在辉光放电沉积及等离子体腐蚀章节中（IV - 1，IV - 2，V - 2）也有用。

I - 2 — I - 4 讲各种磁控溅散装置的结构。这类装置是高效辉光放电溅散源，是在交叉电磁场作用下产生高浓度离子，故有高沉积速度，同时达到了最小的基底轰击。I - 2 描述圆柱形磁控溅散，其中的磁场均匀地正交于电场。I - 3 及 I - 4 讨论平面结构和圆锥形结构，其中的磁场是不均匀的。I - 2 讨论均匀场及梯度场的物理基础，I - 3 及 I - 4 进一步讲梯度场的加工效果。

II - 5 讲离子束沉积，其中的基底未浸入辉光放电区，但放在较好的真空环境中。这一章的内容不仅是重要的，而且是离子枪的物理和工艺基础。此离子枪也被用于离子束腐蚀（离子研磨）中（V - 2）。

归入化学类的加工方法包括化学气相沉积及无机膜或金属膜的液相沉积，例如电镀、阳极处理等。这些加工方法将组成第 III 部分。

混和法在此定义为利用辉光放电去活化化学沉积的方法。IV

-1 讨论等离子体沉积—无机化合物的沉积,是靠辉光放电分介常规用于化学气相沉积中的反应剂。IV-2 讨论辉光放电中的单体聚合反应。

第V部分讲薄膜及基底的腐蚀工艺。着重图形轮廓腐蚀。V-1 详述了化学腐蚀的基础,给出了材料相当广泛的化学腐蚀剂一览表。V-2 谈到四种利用真空技术的腐蚀法:离子束腐蚀(研磨),射频溅散腐蚀(用惰性气体离子的),等离子腐蚀,其中反应性气体离子及受激中性粒子与薄膜表面反应形成易挥发性化合物。最后还有反应离子腐蚀,这是一种混合加工法,是利用射频溅散腐蚀装置和反应性气体,与等离子体腐蚀类似。

1-2 其他薄膜沉积方法

由于多种原因,许多重要的薄膜沉积方法未在此书中评论。

表1 其他薄膜沉积方法

加工方法	参考文献	加工方法	参考文献
1. 热蒸发法:			
电阻加热, 电子束, 射频或激光加热源[1~5]			
2. 分子束外延	[6, 6a]	18. 粉末火焰喷涂	[32, 51, 52]
3. 化学气相外延沉积	[7~11]	19. 等离子体火焰喷涂	[32, 51, 53]
4. 热氧化	[12~17]	20. 电弧等离子体喷涂	[54~57]
5. 等离子体阳极处理	[18~20]	21. 引爆涂敷	[58]
6. 离子注入	[21~24]	22. 扩散涂敷	[32, 59, 60]
7. 静电喷涂	[25~30]	23. 压渗	[59]
8. 印刷	[31]	24. 敷镀	[32, 61]
9. 喷涂	[27, 28, 32]	25. 爆炸敷镀	[62]
10. 旋转涂敷	[27, 28, 32, 33]	26. 液床涂敷	[27, 28, 63~70]
11. 浸渍涂布	[27, 28]	27. 真空浸渍	[27, 28]
12. 电调谐喷涂	[34]	28. 机械(用锤头)覆镀	[32]
13. 熔融金属浸渍涂敷	[32]	29. 刷涂	[27, 28]
14. 液相外延	[35~40]	30. 辊涂	[27, 28]
15. 电泳	[41~44]	31. 光学曝光术	[71~76]
16. 网板印刷	[45~49]	32. X射线曝光	[71, 72, 76, 77]
17. 丝网火焰喷涂	[32, 50, 51]	33. 电子束曝光	[71, 72, 75, 76]

为了避免重复, 已有充分评价的方法不包括在内。另一方面, 还未成熟到足以评价的薄膜加工方法也不列入。此外, 厚膜 ($>25\ \mu\text{m}$) 工艺在此不涉及。但是, 某些加工法虽未在本书中讨论, 仍不失其重要性。按此, 我们选择了其中的33种工艺列于表1, 同时列出了它们的参考文献。

参 考 文 献

1. R. Glang, in "Handbook of Thin Film Technology" (L. I. Maissel and R. Glang, eds.), Ch. 1. McGraw-Hill, New York, 1970.
2. K. W. Raine, *Natl. Phys. Lab. (U.K.), Rep. No. OP MET 13* (1972).
3. E. B. Draper, *J. Vac. Sci. Technol.* **8**, 333 (1971).
4. H. Schwarz and H. A. Tourtellotte, *J. Vac. Sci. Technol.* **6**, 373 (1969).
5. M. S. Hess and J. F. Milkosky, *J. Appl. Phys.* **43**, 4680 (1972).
6. J. R. Arthur, in "Critical Reviews of Solid State Science" (D. E. Schuele and R. W. Hoffman, eds.), Vol. 6, p. 413. CRC Press, Cleveland, 1976.
- 6a. B. A. Joyce and C. T. Foxon, in "Solid State Devices, 1976" (R. Muller and E. Lange, eds.), p. 17. Inst. Phys., London, 1977.
7. G. W. Cullen and C. C. Wang, eds., "Heteroepitaxial Semiconductors for Electronic Devices." Springer-Verlag, Berlin and New York, 1978.
8. J. W. Matthews, ed., "Epitaxial Growth," Part A. Academic Press, New York, 1975.
9. G. W. Cullen, E. Kaldis, R. L. Parker, and C. J. M. Rooymans, eds., "Vapor Growth and Epitaxy." North-Holland Publ., Amsterdam, 1975.
10. H. G. Schneider and V. Ruth, eds., "Advances in Epitaxy and Edotaxy." Elsevier, Berlin and New York, 1976.
11. A. Y. Cho and J. R. Arthur, *Prog. Solid State Chem.* **10**, 157 (1975).
12. K. Hauffe, "Oxidation of Metals." Plenum, New York, 1965.
13. P. Kofstad, "High-Temperature Oxidation of Metals." Wiley, New York, 1966.
14. O. Kubaschewski, "Oxidation of Metals and Alloys," 2nd Ed. Butterworth, London 1962.
15. E. H. Nicollian, *J. Vac. Sci. Technol.* **14**, 1112 (1977), and references therein
16. A. M. Goodman and J. M. Breece, *J. Electrochem. Soc.* **117**, 982 (1970).
17. C. W. Wilmsen, *Thin Solid Films* **39**, 105 (1976).
18. C. J. Dell'Oca, D. L. Pulfrey, and L. Young, *Phys. Thin Films* **6**, 1 (1971).
19. J. F. O'Hanlon, *J. Vac. Sci. Technol.* **7**, 330, (1970).
20. J. F. O'Hanlon, in "Oxides and Oxide Films" (A. K. Vijh, ed.), Vol. 5, p. 1. Dekker, New York, 1977.
21. P. D. Townsend, J. C. Kelly, and N. E. W. Hartley, "Ion Implantation, Sputtering and Their Applications." Academic Press, New York, 1976.
22. G. Carter and W. A. Grant, "Ion Implantation of Semiconductors." Wiley, New York, 1976.
23. G. Dearnaley, J. H. Freeman, R. S. Nelson, and J. Stephan, "Ion Implantation." North-Holland Publ., Amsterdam, 1973.
24. J. W. Mayer, L. Erikson, and J. A. Davies, "Ion Implantation." Academic Press, New York, 1970.
25. S. Kut, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C.

- Anderson, eds.), p 43. Academic Press, New York, 1974.
26. R. P. Corbett, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 52. Academic Press, New York, 1974.
 27. J. J. Licari, "Plastic Coatings for Electronics," McGraw-Hill, New York, 1970.
 28. J. J. Licari and E. R. Brands, in "Handbook of Materials and Processes for Electronics" (C. A. Harper, ed.), Ch. 5. McGraw-Hill, New York, 1970.
 29. M. C. Gourdin, E. L. Collier, G. P. Lewis, H. McCrae, and D. H. Porter, U.S. Patent 3, 613, 993 (1971).
 30. L. L. Bromley and J. B. Williams, U.S. Patent 3, 635, 401 (1972).
 31. S. Karttunen and P. Oittinen, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 222. Academic Press, New York, 1974.
 32. J. A. Murphy, "Surface Preparation and Finishes for Metals," Ch. 6. McGraw-Hill, New York, 1971.
 33. B. D. Washo, *IBM J. Res. Dev.* **21**, 190 (1977).
 34. S. B. Sample, R. Bollini, D. A. Decker, and J. W. Boarman, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 322. Academic Press, New York, 1974.
 35. H. F. Lockwood and M. Ettenberg, *J. Cryst. Growth* **15**, 81 (1972).
 36. J. T. Longo, J. S. Harris, E. R. Gertner, and J. C. Chu, *J. Cryst. Growth* **15**, 107 (1972).
 37. J. W. Balch and W. W. Anderson, *J. Cryst. Growth* **15**, 204 (1972).
 38. I. Crossley and M. B. Small, *J. Cryst. Growth* **15**, 268 (1972).
 39. I. Crossley and M. B. Small, *J. Cryst. Growth* **15**, 275 (1972).
 40. C. J. Nuese, H. Kressel, and I. Ladany, *J. Vac. Sci. Technol.* **10**, 772 (1973).
 41. E. Matejevic, ed., "Surface and Colloid Science," Vol. 7. Wiley, New York, 1974.
 42. A. With, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 60. Academic Press, New York, 1974.
 43. D. J. Shaw, "Electrophoresis." Academic Press, New York, 1969.
 44. H. A. Pohl and W. F. Pickard, eds., "Symposium on Dielectrophoretic and Electrophoretic Deposition." Electrochem. Soc., Princeton, New Jersey, 1969.
 45. D. W. Hamer and J. V. Biggers, "Thick Film Hybrid Microcircuit Technology." Wiley, New York, 1972.
 46. C. A. Harper, ed., "Handbook of Thick Film Hybrid Microelectronics." McGraw-Hill, New York, 1974.
 47. M. L. Topfer, "Thick-Film Microelectronics." Van Nostrand-Reinhold, New York, 1971.
 48. G. V. Planer and L. S. Phillips, "Thick Film Circuits." Crane, Russak, New York, 1972.
 49. J. I. Biegeleisen and M. A. Cohn, "Silk Screen Techniques," Dover, New York, 1942.
 50. H. S. Ingham and A. P. Shepard, "Flame Spray Handbook," Vol. 1: Wire Flame Spraying. Metco, New York, 1965.
 51. C. W. Smith, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 262. Academic Press, New York, 1974.
 52. H. S. Ingham and A. P. Shepard, "Flame Spray Handbook," Vol. 2: Powder Flame Spraying. Metco, New York, 1965.
 53. H. S. Ingham and A. P. Shepard, "Flame Spray Handbook," Vol. 3: Plasma Flame Process. Metco, New York, 1965.
 54. D. H. Harris and R. J. Janowiecki, *Electronics* **43**(3), 108 (1970).
 55. J. D. Reardon, *Ind. Res.* **19**(4), 90 (1977).
 56. A. R. Moss and W. J. Young, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 287. Academic Press, New York, 1974.

57. D. R. Marantz, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 308. Academic Press, New York, 1974.
58. R. G. Smith, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 271. Academic Press, New York, 1974.
59. R. L. Wachtell, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 105. Academic Press, New York, 1974.
60. J. C. Gregory, in "Science and Technology of Surface Coating" (B. N. Chapman and J. C. Anderson, eds.), p. 136. Academic Press, New York, 1974.
61. D. R. Gabe, "Principles of Metal Surface Treatment and Protection." Pergamon, Oxford, 1972.
62. R. H. Wittman, *Battelle Tech. Rev.* 16(7), 17 (1967).
63. W. J. Davis, U.S. Patent 3,004,861 (1961).
64. C. J. Dettling, U.S. Patent 2,974,060 (1961).
65. C. J. Dettling and R. E. Hartline, U.S. Patent 2,987,413 (1961).
66. E. Gemmer, U.S. Patent 2,974,059 (1961).
67. E. Gemmer, U.S. Patent 3,090,696 (1963).
68. C. K. Pettigrew, *Mod. Plast.* 43(12), 111 (1966).
69. C. K. Pettigrew, *Mod. Plast.* 44(1), 150 (1966).
70. J. Gaynor, A. H. Robinson, M. Allen, and E. E. Stone, *Mod. Plast.* 43(5), 133 (1966).
71. A. N. Broers, *Proc. Int. Vac. Congr., 7th, Int. Conf. Solid Surf., 3rd, Vienna* p. 1521 (1977).
72. A. N. Broers, *Proc. Symp. Electron Ion Beam Sci. Technol., 7th, Electrochem. Soc., Princeton, N.J.*, p. 587 (1976).
73. R. J. Ryan, E. B. Davidson, and H. O. Hook, in "Handbook of Materials and Processes for Electronics" (C. Harper, ed.). Ch. 14. McGraw-Hill, New York, 1970.
74. F. H. Dill, *IEEE Trans. Electron Devices* ED-22, 440 (1975).
75. L. F. Thompson and R. E. Kerwin, *Annu. Rev. Mater. Sci.* 6, 267 (1976).
76. E. I. Gordon and D. R. Herriott, *IEEE Trans. Electron Devices* ED-22, 371 (1975).
77. H. I. Smith, *Proc. IEEE* 62, 1361 (1974).