

激光工艺与微电子技术

B. П. 魏柯 C. M. 麦捷夫 著

吴国安 邓存熙 译



国防工业出版社

激光工艺与微电子技术

B. П. 魏 柯 C. M. 麦捷夫 著

吴国安 邓存熙 译

国防工业出版社

·北京·

9710089

著作权合同登记 图字:军-1997-008

图书在版编目(CIP)数据

激光工艺与微电子技术 / 吴国安, 邓存熙译. —北京:
国防工业出版社, 1997. 7

ISBN 7-118-01641-1

I. 激… I. ①吴… ②邓… III. ①激光光学加工技术
②激光光学加工技术-应用-集成电路-封装工艺 IV. TN405

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 15470 号

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МИКРО ЭЛЕКТРОНИКЕ

В. П. Вейко, С. М. Метев

ИЗДАТЕЛЬСТВО БОЛГАРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

1991

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 14 362 千字

1997 年 7 月第 1 版 1997 年 7 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 25.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МИКРО ЭЛЕКТРОНИКЕ

В. П. Вейко

С. М. Метев

000000

ИЗДАТЕЛЬСТВО
БОЛГАРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

1991

译者序

自1960年第一台激光器问世以来,激光加工工艺得到了迅速的发展,目前已广泛地应用于机械、汽车、冶金和微电子工业等,成为强有力的加工制造手段。我国第一台激光器于1961年在长春制造成功,激光加工工艺的研究开发也起步较早。现在可以这样说,国外已有的技术成果我们也都研究开发过,但真正在生产中得以推广应用的却较少。对一些行业,如微电子工业、汽车工业和钢铁工业等,应用还未得到真正的开展。

正如作者在俄文版序言中所述,在国外激光加工工艺早已成功地应用于蓬勃发展的微电子技术之中,正在冲击着微电子技术中传统的加工方法,成为微电子技术中不可缺少的加工工艺手段。可以这样说,微电子技术与激光加工工艺是不可分割的,它们已向相互促进、共同发展的道路。

多年来,激光工艺在微电子学中应用发展很快,报道和论文很多,但系统地总结论述的专著却没有。魏柯教授和麦捷夫教授的《激光工艺与微电子技术》一书在很大程度上填补了这个空白。为此,我们决定将此书译成中文,介绍给我国以及其它使用汉语的国家与地区的广大学者、教授、工程师,以及有关专家和研究生等。

本书的第一作者魏柯教授是俄罗斯圣·彼得堡精密机械与光学学院(技术大学)激光工艺教研室主任、技术博士,国际知名的激光加工工艺专家、教授。他从1963年开始从事激光应用的研究,对激光工艺,特别是微细激光加工工艺具有重大的贡献。除本书以外,他曾编著《激光加工》(1973年)、《激光工艺学》(1975年)和《激光薄膜加工》(1986年)等。圣·彼得堡精密机械与光学学院激光教研室在他的领导下,曾发表过激光微细加工的有关文献70篇以

上,获得专利 20 多项。魏柯教授曾多次应美国、日本、德国和中国等邀请讲学。他的工作得到了国际上同行应有的重视。

魏柯教授对中译本的出版给予了大力支持,专门写了中译本序言,以最新的材料对全书(1991 年版)进行了修改,并同 A. И. 卡达洛夫和 E. A. 沙赫洛合作,专门撰写了第十二章。在此,译者对魏柯教授和他的同事们表示衷心的感谢!

本书的第一~五章和第十二章由邓存熙同志翻译,第六~十一章由吴国安同志翻译。

我们在确定翻译本书时,得到了中科院上海光机所干福熹院士的支持,另外,王亚茹同志在整理定稿过程中做了大量工作,在此一并表示衷心感谢!

由于译者水平有限,书中新名词较多,错误与不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

吴国安 邓存熙

中译本序言

本书中译本的出现,毫无疑问地说明了在中国,包括讲汉语的其它国家与地区,对高科技的兴趣愈来愈浓厚。这将进一步扩大和加深激光在微电子技术领域的应用范围。

本书俄文版出版已经几年了,这些年来,不仅证实了本书所涉及内容的正确性和前景的广阔性,而且在微系统的建立方面总结和形成了许多新方法。在这些新方法中吸取了微机械学、微电子学和集成光学中的成就。1994年 Springer-Verlag 出版社出版了本书的英文版变本,其名称为《Laser-assisted microtechnology》(激光微工艺学)(S. M. Metev, V. P. Veiko, Springer Ser Mater Sci. v. 19 Springer, Berlin, Heidelberg, 1994)。

最近一些年来,激光微工艺学处在蓬勃发展的时期。1986年以后,据不完全统计,本学科方面出版的书籍就有以下几种:

D. Bauerle, Chemical Processing with Lasers(激光化学加工), Springer Ser. Mater. Sci. v. 1 (Springer, Berlin, Heidelberg, 1986);

В. П. Вейко, Лазерная обработка тонких пленок(激光薄膜加工), Ленинград, Машиностроение, 1986;

I. W. Boyd, Laser Processing of Thin Film and Microstructures (薄膜和微结构的激光加工), Springer Ser. Mater. Sci. v. 3 (Springer, Berlin, Heidelberg, 1987);

K. G. Ibbs, R. M. Osgood, Laser Chemical Processing for Microelectronics (微电子学中的激光化学加工)(Cambridge Univ. Press. Cambridge, 1989);

D. J. Ehrlich, J. Y. Tsao, Laser Microfabrication Thin Film Processes and Lithography(薄片处理与光刻的激光微加工)(Aca-

demic, New York, 1989)。

由于该领域的迅速发展,我们专为中译本编写了第十二章“激光定域镀膜”。这是目前用于直接信息记录、布局等方法的最新资料。它为解决微电子技术中的许多问题提供了新途径。另外,我们对原书还作了少量的补充和修改。

我希望本书将对所有说汉语的专家们有所裨益,并且有助于加强中俄两国的合作。

最后,我要感谢出版本书的实际倡议者和译者吴国安教授,他为此付出了巨大、细致入微的劳动。

俄罗斯圣·彼得堡国立精密机械
与光学学院(技术大学)教授
B. П. 魏柯

序 言

微电子技术是 20 世纪后半叶科技进步最重大的成就之一。现在,很难设想任何机器和装置,从家用电器到宇航技术,能离开微电子仪器和设备。

微电子技术蓬勃发展并渗透到人类活动的各个领域,刺激着人们不断地完善微电子仪器及其制造技术。激光加工技术早已成功地应用于微电子学中。电阻器额定值的激光调整、集成电路硅片的激光划线和微型仪器壳体的密封等,这些广为人知的成就标志着激光工艺在微电子技术中应用的第一阶段。

近年来,激光功能调整微电路有很大的进展,它消除了影响模拟数字转换器和数字模拟转换器、运算放大器等多种集成电路精度的种种限制,从而进入了一个新的复杂阶段。我们看到,激光光刻技术正在形成一个独立的分支。我们认为,它是激光微电子元件布局方法和手段的综合产物。

我们现在正处于激光开始向微电子技术最神圣不可侵犯的领域——基础工艺过程积极渗透的阶段。这里不久前还是真空镀膜、光刻技术、扩散、外延和离子注入的一统天下。激光镀膜(特别是激光脉冲镀膜)本质上突破了真空镀膜的框框;激光光刻技术成功地弥补了光刻技术的不足;激光熔结和扩散扩大了传统热学技术的应用范围;激光微化学暂时还不能同外延竞争,但已能提供一系列可供选择的方案。最后,如果没有激光退火(或极端条件下的光学退火),离子注入是不可思议的。

公开报道激光工艺在微电子技术中的应用和研究的文献,全世界每年超过 1000 篇。但迄今还没有一本专著总结当前已经取得的重大成果,描述微电子技术中应用激光的更为动人的前景,本书

可部分地填补这一空白。

应当说明,本书一、二、三篇阐述的深度和方法是各不相同的。第一篇论述金属薄膜的激光加工,它总结了激光应用的重要阶段。这方面的特点是,它的科学原理近来已经基本掌握,所取得的应用成果亟需总结和推广。同时可预见在光刻技术、光信息记录和集成电路调整等方面,激光的应用将进一步取得重大成果。在阐述这些问题时,作者使用了自己已形成专著的研究成果^[18]。

第二篇反映的成果为人所周知,它讲述激光在装配操作中的应用问题。这方面作者并不谋求面面俱到,而是试图在讲清物理基础之外,给出最具特征的应用实例,阐明主要的应用范围,表达恰当的加工模式。

第三篇文字是作者对半导体激光加工、激光微化学和激光镀膜方面大量的、种类不同的材料进行概括和归纳的初步尝试。对这些问题进行总结为时尚早。论述这些问题的目的在于试图确定它们在微电子技术其它方法系列中的地位,表达已经取得的成果,并指出进一步发展的某些方向。

作者衷心感谢 C. B. 加波洛夫提供了激光镀膜方面的许多资料和对第十一章进行的有益讨论;衷心感谢 M. H. 利宾松和 B. A. 皮利片科提供了许多有关激光辐射对半导体的作用的资料,并对第十章提出了许多有益的意见。作者也感谢 C. K. 萨夫钦科在准备本书手稿付印时所给予的巨大帮助。

目 录

第一篇 吸附薄膜的激光加工

引言	(1)
第一章 激光薄膜加工的物理基础	(4)
1.1 激光辐射作用下的薄膜加热	(4)
1.1.1 辐射能的吸收和转换	(4)
1.1.2 加热阶段的热物理分析	(6)
1.2 激光照射作用下的去膜机制	(15)
1.2.1 过程的定性研究	(15)
1.2.2 薄膜双相破损的理论分析	(17)
1.2.3 唯象模型	(21)
1.2.4 激光去膜技术的实验研究	(26)
结论	(29)
第二章 激光薄膜加工时光学图象的形成方法	(31)
2.1 轮廓光束(聚焦)法	(31)
2.2 投影法	(33)
2.3 光象轮廓投影的形成法	(36)
2.4 光象正投影的形成法	(41)
2.5 接触法	(45)
2.6 全息法	(46)
2.7 关于辐射相干性作用的提示	(47)
结论	(49)

第三章 辐射作用机制和成象方法对激光薄膜加工的精度和模式选择的影响	(50)
3.1 与成象机制有关的图象畸变	(50)
3.1.1 热畸变	(51)
3.1.2 图象的流体动力畸变和激光薄膜加工的光洁度	(59)
3.2 光象形成的精度	(62)
3.2.1 象的衍射畸变	(62)
3.2.2 象差畸变	(65)
3.2.3 激光光束不均匀引起的象畸变	(66)
3.2.4 光象畸变的其它原因	(67)
3.2.5 畸变的相互作用	(68)
3.3 激光薄膜加工的再现性	(69)
3.3.1 激光器辐射参数的稳定性	(69)
3.3.2 加工结果的再现性与激光辐射参数稳定性的关系	(70)
3.4 激光薄膜加工过程中片基特性的变化	(73)
3.4.1 激光薄膜加工时薄膜结构的片基上可能产生裂纹的原因	(73)
3.4.2 片基表层的熔化	(78)
结论	(81)
第四章 激光薄膜加工的工艺过程	(84)
4.1 薄膜元件电参数的调整	(85)
4.1.1 混合集成电路参数的微调与故障的排除	(86)
4.1.2 石英压电元件参数的微调	(102)
4.1.3 薄膜电路的功能微调	(120)
4.2 薄膜的尺寸加工	(123)
4.2.1 薄膜电路布局的修正	(124)
4.2.2 薄膜元件布局的形成	(129)
4.3 激光信息记录	(134)
4.3.1 数字光盘信息记录	(134)
4.3.2 模拟信息记录	(144)
4.4 激光薄膜加工技术的优化	(146)

4.4.1	激光薄膜加工精度的主要物理限制	(147)
4.4.2	激光薄膜加工技术的优化途径	(148)
	结论	(156)
第五章	薄膜加工的激光设备	(158)
5.1	薄膜加工用的激光器	(159)
5.2	激光薄膜加工设备的光学机械系统	(165)
5.2.1	高能(激光)通道光学系统激光光束扫描方法	(165)
5.2.2	目视通道的光学系统	(172)
5.3	激光调试设备	(175)
5.4	薄膜尺寸加工的激光设备	(178)
5.4.1	校准薄膜元件尺寸的激光设备	(178)
5.4.2	薄膜元件布局成形的设备	(179)
	结论	(182)
 第二篇 激光工艺在微电子装配操作中的应用 		
引言		(183)
第六章	激光加热和焊接	(185)
6.1	非破损材料的加热特性	(185)
6.2	激光加热的应用	(191)
6.2.1	激光淬火	(192)
6.2.2	激光定域合金掺杂	(194)
6.3	激光焊接	(197)
6.3.1	激光辐射作用下金属熔化过程的特性	(198)
6.3.2	激光点焊	(202)
6.3.3	激光缝焊	(211)
6.3.4	影响激光焊接质量的因素	(215)
6.3.5	微电子技术装配操作中应用激光焊接的特例	(218)
	结论	(225)

第七章 材料的激光尺寸加工	(226)
7.1 激光钻孔	(226)
7.1.1 激光钻孔时材料去除过程的特性	(226)
7.1.2 吸收材料中的钻孔规律	(230)
7.1.3 单脉冲激光打孔的精度和重复性	(233)
7.1.4 多脉冲打孔法	(238)
7.2 材料的激光分割	(241)
7.2.1 材料的激光切割	(242)
7.2.2 激光热劈裂	(245)
7.3 激光尺寸加工在微电子技术中应用的特例	(246)
结论	(260)
第八章 微电子装配操作的激光工艺设备	(261)
8.1 激光工艺设备的基本装置	(261)
8.2 焊接和热处理用的激光工艺设备	(263)
8.3 尺寸加工的激光工艺设备	(266)
结论	(266)

第三篇 激光对微电子技术基础性工艺过程的活化

引言	(269)
----------	-------

第九章 激光热化学和激光光化学在微电子技术中的应用	(272)
9.1 激光辐射的热化学作用	(272)
9.1.1 激光辐射作用下金属膜的氧化	(273)
9.1.2 半导体的激光氧化	(292)
9.1.3 氧化材料表面的还原	(295)
9.1.4 激光热离解金属有机化合物	(297)
9.1.5 薄膜电化学沉积过程的激光活化	(306)
9.1.6 激光辐射对某些聚合材料的作用	(308)
9.1.7 化合物与合金的激光热活性合成	(311)

9.2 激光辐射的光化学作用	(315)
9.2.1 气相金属有机化合物的激光离解	(316)
9.2.2 选择性激光光蚀刻	(319)
结论	(323)
第十章 半导体微电子元件参数的激光可控修正	(324)
引言	(324)
10.1 激光能量在半导体中的吸收特性和重新分布	(325)
10.1.1 激光辐射在半导体中的吸收	(325)
10.1.2 载流子的松弛和复合、晶格的加热	(329)
10.1.3 半导体中表面电磁波的激励和表面周期性结构的形成	(333)
10.2 离子注入半导体的激光退火	(335)
10.2.1 离子注入半导体激光退火的特性	(336)
10.2.2 激光退火的机制	(347)
10.2.3 离子注入半导体激光退火与其它退火方法比较所具有的潜力	(351)
10.3 绝缘片基上硅膜的激光结晶化	(353)
10.4 半导体缺陷的激光除吸法	(359)
10.5 应用激光修正结构的方法制造半导体仪器的特例	(360)
结论	(364)
第十一章 激光等离子体镀膜法	(366)
引言	(366)
11.1 激光等离子体镀膜法的实质	(367)
11.2 激光脉冲辐射镀膜过程的特性	(368)
11.2.1 激光辐射与靶材和激光腐蚀产物的相互作用	(368)
11.2.2 激光腐蚀产物 惯性飞散阶段的特性	(370)
11.2.3 激光腐蚀产物与片基的相互作用和凝结物在片基表面的形成	(372)
11.3 激光等离子体镀膜法在微电子技术中应用的特例	(375)
结论	(380)

第十二章 激光定域镀膜	(381)
12.1 激光定域镀膜法的实质	(381)
12.2 实验技术和研究方法	(382)
12.3 激光定域镀膜过程的特点	(389)
12.4 激光定域镀膜的物理模型	(394)
12.4.1 薄膜从施主片基阈值前脱落的机制	(394)
12.4.2 激光定域镀膜的蒸发模式	(398)
12.5 激光定域镀膜的主要应用范围	(405)
结论	(410)
 参考文献	 (411)

第一篇 吸附薄膜的激光加工

引 言

薄膜元件在微电子技术中有着广泛的应用。像无线电电子技术的功能部件和电子计算机系统,诸如线性与逻辑薄膜混合电路、超高频装置、石英谐振腔、滤波器、薄膜存储元件等,在其制造过程中,薄膜元件的作用特别巨大。薄膜元件也用于各种光学仪器、辐射吸收和电测等仪器中。

薄膜元件工艺建立在三组基本工艺过程之上:(1)膜层的喷涂;(2)薄膜元件布局的形成;(3)薄膜元件规定参数的产生。

现在,用真空镀膜、离子-等离子体溅射或膏剂烧渗的方法,可以顺利地制出满足上述各种应用所需性能的膜层。薄膜元件布局最常用的方法是照相光刻法、真空镀膜时的掩膜法或涂抹膏剂的蚀刻法。在微电子学的现阶段,这些实施布局的方法除它固有的优点之外,也暴露出一些缺点。总是用这些方法不可能(或者太复杂)保证薄膜参数日益增加的精度要求,原因如下:

薄膜元件的布局与电特性之间(特别是分布参数之间)相互耦合的性质复杂;

在多因素的镀膜过程中,保证膜层参数的精度不够;

原料(特别是混合原料)性能的重复性不高,而用普通方法不可能做到这点;

控制薄膜元件的生产过程和实时检查输出参数太复杂,或者无法进行。

由于以上原因,随着薄膜元件精度要求的提高,元件的合格率