

文章编号:1007 - 4252(2020)06 - 0006 - 382

国内外光刻胶产业分析及发展建议

朱宇波¹, 黄嘉晔^{2,*}

- (1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 信息功能材料国家重点实验室, 上海 200050;
2. 上海集成电路材料研究院有限公司, 上海 200050)

摘要:光刻胶是集成电路光刻工艺中的关键材料,光刻胶产业具有很高的技术壁垒,市场基本被国外企业垄断。近年来,随着集成电路芯片制造产能向中国大陆转移,我国对光刻胶的需求稳步增加,实现进口替代的需求迫切。本文针对光刻胶产业,从全球产业情况、相关产业巨头、产业特点以及国内光刻胶产业面临的问题方面进行综合阐述,最后提供了国内光刻胶产业的发展建议。

关键词:光刻胶;集成电路制造;产业分析

中图分类号:TN25/TN9

文献标志码:A

Analysis and development suggestions on photoresist industry at home and abroad

ZHU Yu-bo¹, HUANG Jia-ye^{2,*}

- (1. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, National Key Laboratory for Information Functional Materials, Shanghai 200050, China;
2. Shanghai Institute of IC Materials, Shanghai 200050, China)

Abstract: Photoresists play a major role in photolithography while fabricating integrated circuits. The photoresist industry has high technical barriers, and the market is mainly monopolized by foreign companies. In recent years, with the transfer of production capacity to mainland China, the demand for photoresist has steadily increased, and it is urgent to realize import substitution. This article focuses on the photoresist industry, comprehensively elaborating on the global industry situation, related industry giants, industry characteristics and the problems faced by the domestic photoresist industry, and finally provides suggestions for the development of the domestic photoresist industry.

Key words: Photoresist, Integrated circuit fabrication, Industry analysis

收稿日期:2020-10-30; 修订日期:2020-11-23

作者简介:朱宇波(1997-),男,上海,在读硕士,从事集成电路材料高通量研发。

通信作者:黄嘉晔(1983-),男,上海,博士,战略研究总监,从事集成电路行业调研,(E-mail: jiaye.huang@sicm.com.cn)。

0 引言

集成电路材料是集成电路产业的立足根本,目前,我国已经成为全球最大的集成电路材料消费市场之一,但国产化进程尚未跟上国内集成电路产业的高速发展,存在被“卡脖子”的风险。

集成电路产业的更新换代离不开光刻技术和光刻胶的发展,在摩尔定律的推动下,光刻技术经历了紫外全谱(300-450nm),到深紫外(248nm和193nm)以及下一代极紫外(13.5nm)的发展过程,在每个阶段,都需要开发对应各个曝光波长的光刻胶产品。

光刻胶是集成电路制造的核心材料。在集成电路制造工艺中,光刻的成本往往占到整个制造工艺35%,耗费的时间则高达60%,光刻胶的质量将直接影响集成电路制造成本、良率及性能。本文主要从光刻胶全球产业情况、相关企业、产业特点以及国内光刻胶产业面临的问题方面进行阐述,为国内光刻胶产业的发展提供了参考。

1 光刻胶市场与产业总体情况

按曝光波长,光刻胶可分为G-line、I-line、KrF、ArF & ArF i、EUV等光刻胶,2018年,全球IC光刻胶市场规模17亿美元,占半导体材料行业的5%。

光刻胶是电子化学品中技术壁垒最高的材料,具有纯度要求高、生产工艺复杂、生产及检测等设备投资大、技术积累期长等特征,属于资本技术双密集型产业。全球市场基本被日本、美国、欧洲等国家与地区的几家大型企业所垄断。光刻胶国际品牌,主要包括日本JSR、东京应化、陶氏化学、富士电子材料FujiFilm、信越化学、Merck、住友化学、日产化学等,市场集中度高,下图所示是ArF/ArFi、KrF、G/I-line的全球市场份额格局^[1]。

中国大陆IC光刻胶市场规模估计仅为RMB 15-20亿元,约占全球光刻胶市场的15%,随着国内晶圆厂未来几年大幅扩产,我国光刻胶市场将保持快速增长。国内光刻胶行业起步较晚,国内企业市场占有率有份额极低,适用于6英寸硅片的G/I线光刻胶的自给率约为20%,适用于8英寸硅片的KrF光刻胶的自给率不足5%,而适用于12英寸硅片的ArF光刻胶完全依靠进口^[2]。

2 国际光刻胶巨头业务情况简介

国际主要光刻胶巨头的竞争优势各有特色:

1. JSR:技术最领先的光刻胶企业,主要客户是Intel、三星和台积电。JSR以技术引领整个光刻胶产业发展,产品跨度非常大,涵盖I-line、KrF、ArF、ArFi、EUV光刻胶。

2. Merck:是欧洲最大的光刻胶企业,主要光刻胶产品包括G、I-line、KrF、ArF,与其他光刻胶企业相比其核心优势产品是抗反射涂层(Anti-Reflection Coating, ARC)。

3. TOK:全球最大的光刻胶企业,专注于做光刻胶及配套试剂,目前在行业里G、I-line, KrF和ArF都占有较大市场份额,但是在高端技术上落后于JSR、陶氏和信越化学。

4. 陶氏化学:光刻胶事业部已经并到杜邦,光刻胶只是杜邦的一种产品。客户是Intel、IBM体系,在美国和新加坡、中国台湾地区的占有率高,但在大陆市场占有率不是很高。

5. FujiFilm:在主流的IC光刻胶市场份额不是很大,在OLED,包括平板显示部分的市场份额很大。

6. 信越化学:跟JSR、陶氏化学一样,都是大化工企业,不仅仅供应光刻胶,也供应晶圆和其他半导体材料。光刻胶主要产品包括KrF、ArF、ArFi、EUV也在开发中。

7. 住友化学:已经研制出适用于ArF浸入式光刻胶和EUV技术的光刻胶,其中EUV技术的光刻胶应用于32nm以下晶圆制造制程。

8. 日产化学:与美国Brewer Science公司在光刻胶领域形成战略伙伴关系,其光刻胶主要产品包括I-line、KrF、ArF、ArFi,并积极进行EUV光刻胶的开发。

3 国际光刻胶巨头大事记

光刻胶市场格局被欧美巨头所垄断,欧美巨头为了巩固其竞争地位,对光刻胶的研发与资本投入在近年来一直持续不断,以下是近年来国际光刻胶企业在光刻胶领域的主要研发及投资活动。

表 1 国际光刻胶巨头大事记

Table 1 Events of international photoresist giants

公司	光刻胶研发及投资重要事件
JSR	2017 年 3 月份,由 JSR 株式会社和 IMEC 微电子研究所共同成立的 EUV 光刻胶制备和认证中心 (EUV RMQC) 在比利时成立,此中心的主要目标是确保 EUV 光刻胶的认证和在半导体领域应用的质量控制。2017 年, EUV Resist Manufacturing facility 竣工,总投资额未披露。
JSR	2020 年 2 月, EUV 光刻胶先驱 Inpria 在 JSR Corporation 主导的 C 轮融资中筹得 3100 万美元。其他投资者包括 SK Hynix, Intel, Samsung, TSMC。
Merck	2013 年底,默克提出以近 19 亿欧元的现金收购安智电子材料,扩大其在集成电路光刻胶材料领域的全球业务。
Merck	2017 年,默克苏州光刻胶实验室启用。2017 年默克在中国的高性能材料投资逾 1 亿人民币,高性能材料包括光刻胶材料和显示材料。
信越化学	2019 年,信越化学在台湾投资光刻胶工厂,投资额为 130 亿日元,约合 8.35 亿人民币。
东京应化 (TOK)	根据 TOK Mid-term plan, TOK 从 2019 年 1 月到 2021 年 12 月共规划 19.9 亿元资本投入,17.9 亿元研发投入。其资本投入包括扩建在韩国的光刻胶工厂,预计 2020 年 Q4 竣工。其 2016 年到 2018 年间的资本投入为 13.9 亿元,研发投入为 15.4 亿元。
陶氏化学	2020 年 1 月,陶氏化学宣布拟在韩国生产半导体材料光刻胶,一期投入 2800 万美元。
FujiFilm	2007 年,富士胶片在苏州投资建立富士胶片电子材料(苏州)有限公司,生产和销售集成电路生产所需的光刻胶显影液,投资额为 7 亿 7 千万日元,约合 5000 万人民币。2013 年, FujiFilm 与 IMEC 合作为有机半导体亚微米加工技术开发出一种新的光刻胶技术。
住友化学	住友化学拥有信息电子化学品研究所,研发支持信息电子产业的产品和技术,包括以光学功能性薄膜为主的液晶显示器所需的构件、光刻胶等半导体工艺材料等。
日产化学	美国 Brewer Science 公司将其光刻胶材料 ARC [®] 材料技术授权给日产化学,授权至 2028 年,重点业务区域集中在亚洲。

4 光刻胶产业特点

1、光刻胶产业资本投入大、技术壁垒高,属于资本技术双密集型产业。光刻胶的生产具有资本投入大、技术要求高、产品更新换代快、规模效应强等特点。一台配套 EUV 光刻技术研发的高端 EUV 光刻机价值高达 1.5 亿美元,资本投入巨大。除了光刻胶以外,光刻胶辅助材料、光刻胶专用试剂也具有较高的技术壁垒,例如抗反射涂层的配方主要掌握在 JSR、信越化学、陶氏化学、Merck 等国际光刻胶巨头手里^[3]。

2、光刻胶市场集中度高,国际巨头优势明显。光刻胶行业的成长伴随着半导体产业的发展。因此供应光刻胶的生产企业,大部分都是在半导体产业发展早期就开始参与市场的有机感光材料企业。由于技术资本技术壁垒高,全球市场基本被日本、美国、欧洲等国家和地区几家大型企业所垄断,主要包括日本 JSR、东京应化、DOW、富士电子材料、信越化学、Merck、住友化学、日产化学。世界前五大光刻胶供应商市场份额合计占到 80% 以上,市场集中度高^[4]。

3、光刻胶产业盈利率低,产品验证周期长,行业壁垒高。光刻胶不仅技术壁垒高,客户壁垒也高,这种双高性质,使得行业集中度不断提高,行业内企业可以保持垄断优势,而新进入企业则需要大量的资金、技术和人才投入。光刻胶行业下游客户认证周期长,客户定制化程度高。生产企业与下游客户需要经过相当长的产品检测、验证过程,一般是两到三年,才能批量供货。这种投资规模大,产品验证周期长的特点,导致光刻胶产业投入回报率低且短期经济效应不显著。

5 EUV 光刻是延续摩尔定律的“重中之重”

随着摩尔定律的发展,先进半导体制程的尺寸不断微缩。在 7nm 以下最先进的工艺节点上,台积电、英特尔和三星纷纷积极导入 EUV 技术。相比 ArFi 浸没式光刻, EUV 光刻技术有很高的图形保真度和设计灵活性,所需的光掩模数量很少,显示出明显的优势^[5]。

分辨率更高的 EUV 光刻胶技术由光刻机、光源、光刻胶和光掩膜所组成。过往 EUV 技术的瓶颈主要在光源,因为光源的功率不足,会影响芯片的生产效率,这也是过去多年以来 EUV 技术一直推迟量产的原因。目前 ASML 的光源功率可以达到 250W,在此功率下,客户可以达到每小时 155 片晶圆吞吐量,光源问题解决后,EUV 技术被提出最多的挑战即是 EUV 光刻胶^[6]。

目前 EUV 光刻胶技术主要掌握在少数几个国际光刻胶龙头企业。JSR 投资的美国公司 Inpria 是 EUV 光刻胶领域的先驱者,其高分辨率无机金属氧化物光刻胶的光吸收率可达传统有机光刻胶 CAR 的 4-5 倍,图形保真度更高。Lam Research 和光刻机龙头 ASML、比利时微电子中心 IMEC 联手研发,提出了一种全新的 EUV 干式光刻胶技术,EUV 干式光刻胶的优点在于提升成像的敏感度、分辨率和 EUV 曝光的分辨率^[7]。此外,日本信越化学也在积极研发 EUV。我国在 EUV 光刻胶方面起步较晚,落后国外先进水平较多,仅有中国科学院化学研究所有一定的研究基础。

6 国内光刻胶产业存在的问题

我国光刻胶的研究始于 20 世纪 70 年代,最初阶段与国际水平相差无几,几乎和日本同时起步,但由于种种原因,差距愈来愈大。目前我国在这一领域基本上无技术优势可言,与国际先进水平相比有较大的差距,在产品上大约相差 3 代以上。国内光刻胶产业存在许多问题,主要表现为以下 3 个方面。

1、国内光刻胶企业小,力量散。国内目前有能力生产 IC 光刻胶的企业寥寥无几,主要包括晶瑞股份、南大光电、上海新阳等^[8]。通过对比国内主要光刻胶企业与国外主要光刻胶企业的营业收入与雇员人数可以发现,国内光刻胶企业规模小,营业收入尚不及国际同类企业营业收入的十分之一。晶瑞股份通过参与国家 02 专项,已通过中芯国际上线测试,在国内实现了 1 线(365nm)光刻胶量产。南大光电持股的北京科华也在 02 专项的支持下,完成了年产能 10 吨的 KrF(248nm)光刻胶生产线的建设。虽然国内光刻胶龙头企业近年来取得了一些成果,但与国外光刻胶巨头强强合作协同发展相比,存在着单兵发展,力量分散的问题。

表 2 国内外典型光刻胶企业的营业收入与雇员人数对比(来源:各公司 2019 年年报)

Table 2 Comparison of revenue and number of employees of typical photoresist companies in China and abroad (source: Annual Report of each company in 2019)

企业名称	2018 年营业收入 (亿元)	雇员人数 (截止 2018 年底)
晶瑞股份	8.1	430
南大光电	2.3	269
上海新阳	5.6	569
JSR	325.8	8748
TOK	69	1673
信越化学	1048	21735

2、国内光刻胶企业研发投入不足,发展能力薄弱。截止 2018 年底,国内主要光刻胶企业近 5 年来的研发投入总计约 4 亿元人民币(如下图所示),不及国际单一同类企业同期研发投入的 15%。例如东京应化 TOK 专注于做光刻胶及配套试剂,目前在行业里 G/I 线,KrF 和 ArF 都有较大的市场份额,从 2019 年 1 月到 2021 年 12 月 3 年总研发投入为 17.9 亿元。在产业化技术能力上,国际光刻胶企业普遍拥有 1 线光刻胶、KrF 光刻胶、ArF/ArFi 光刻胶等系列产品,并正在开发 EUV 光刻胶,针对核心产品建立了较全面的专利体系和地区覆盖^[9]。国内光刻胶企业仅在中档 1 线光刻胶方面实现了大批量应用,KrF 光刻胶处于小批量使用和产品的系列化开发阶段,与国际光刻胶先进水平的差距在 3 代以上,核心专利单薄,自我发展能力薄弱^[10]。

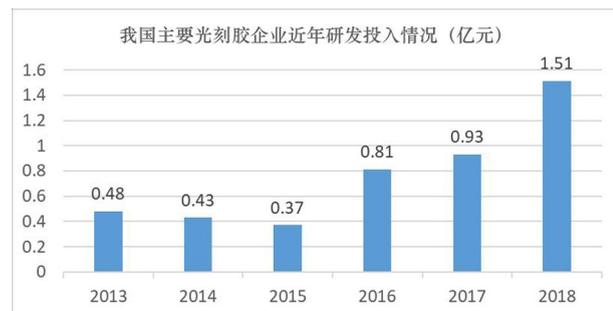


图 1 2013-2018 年我国主要光刻胶企业近年研发投入情况

Fig. 1 The investment of research and development in China's main photoresist enterprises from 2013 to 2018

3、光刻胶供应链不全,原材料严重依赖进口。长期以来,我国光刻胶产业发展缓慢,使得光刻胶原材料的开发缺乏动力和目标,造成当前光刻胶材料用原材料大部分依赖进口。光刻胶由树脂、溶剂、感光剂、添加剂四种成分组成,其中树脂基本上都从美、日、韩进口;感光剂从日本进口为主,国内光刻胶产业链布局不完整。

7 国内光刻胶发展建议

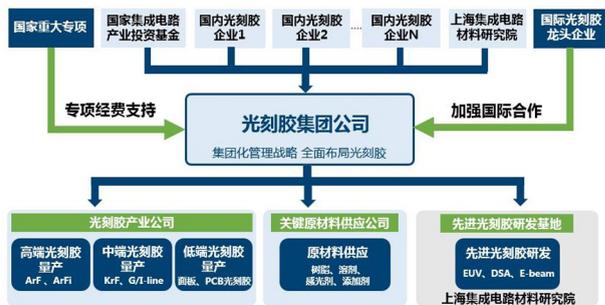


图2 光刻胶集团公司组织架构及核心业务示意图

Fig. 2 Organization structure and core business diagram of photoresist group company

1、整合现有资源,提升整体竞争力。对国内现有的光刻胶企业进行整合,集中优势力量攻克光刻胶核心技术,避免“单兵作战”的低效率开发模式。结合国内集成电路制造的发展趋势,由政府牵头制定国内集成电路用光刻胶的技术发展路线,统筹部署,提升整体竞争力。

2、实施集团化发展战略,全面布局光刻胶业务。在整合模式上,建议采用集团化发展战略,建立集团公司,光刻胶的研发、生产、销售、原材料的供应由下属的业务分公司负责,集团公司对子公司实施控制与管理,统一制定集团的光刻胶发展战略,定位明确,目标清晰,全面布局光刻胶业务。

3、建立先进光刻胶研发基地,布局 EUV 等先进光刻胶研发。EUV 光刻胶是 EUV 光刻能否应用在 7nm 以下先进工艺节点的核心关键因素。目前国外领先的光刻胶企业纷纷加大 EUV 研发力度,国内在 EUV 领域落后较多,建议依托上海集成电路材料研究院建立先进光刻胶研发基地,布局 EUV 等先进光刻胶研发。

4、加强国际合作,实现国产替代。目前光刻胶领域的最领先技术主要被国外龙头光刻胶企业所掌握,建议加强与国际光刻胶巨头的交流与合作,吸取国外先进的光刻胶技术与管理经验,提高光刻胶自给率,逐渐实现国产替代。

参考文献:

- [1] 李铁成,李茜楠. 全球集成电路关键材料产业发展态势与风险分析[J]. 中国集成电路,2020,29(10):11-17.
- [2] 江洪,王春晓. 国内外集成电路光刻胶研究进展[J]. 新材料产业,2019(10):17-20.
- [3] 张镇. 我国电子材料产业发展研究[J]. 电器工业,2016(02):25-27.
- [4] 马太. 光刻胶:国产化势不可挡[J]. 股市动态分析,2017(41):42-43.
- [5] [1] 王君. 极紫外光刻物镜系统光学设计研究[D]. 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所),2015.
- [6] Yanxiang, Xiaolong, Zanfeng, et al. EUV Lithography: State-of-the-Art Review[J]. 微电子制造学报,2019(2):7-20.
- [7] 泛林集团发布应用于 EUV 光刻的技术突破[J]. 电子工业专用设备,2020,49(01):68-69.
- [8] 王龙兴. 2019 年中国半导体材料业的状况分析[J]. 电子技术,2019,48(01):16-18.
- [9] 王丹,车晓璐. EUV 光刻工艺全球专利发展态势研究[J]. 中国发明与专利,2016(09):54-59.
- [10] 何莉莉,崔国振. 光刻胶材料中国区域专利现状分析[J]. 中国发明与专利,2016(06):45-49.