

光刻胶系列报告之一：以史为鉴，看半导体材料皇冠上的明珠

全谱及紫外光刻胶：开山之作

1950s 贝尔实验室开发集成电路的过程中与柯达合作开发了全球首款半导体光刻胶----基于环化橡胶-双叠氮体系的 **KTFR** 光刻胶。1957-1972 年间，其为半导体工业的发展立下了汗马功劳，直至触及 $2\mu\text{m}$ 的分辨率极限。Hoechst 子公司 Kalle 在 1930s 开发的一种印刷材料被贝尔实验室改进后用作下一代光刻胶材料，即**重氮萘醌-酚醛树脂**体系，该体系一直贯穿了 **g 线/i 线**光刻胶时代，至今仍在应用。

化学放大光刻胶：来自化学家的魔法

1980s 光刻技术发展至深紫外光刻时，光源强度严重制约了光刻机的晶圆处理效率。为解决这一问题，**IBM** 的化学工程师开发了划时代的**化学放大光刻胶**。然而 **IBM** 突破 **KrF** 光刻胶时半导体工业尚未发展到需使用 **KrF** 光刻的时代，**KrF** 胶成了“早产儿”，直至 1995-1997 年半导体工艺进展至 $0.25\mu\text{m}$ 节点时 **KrF** 胶才迎来了高速增长时代。**ArF** 光刻胶雏形也源自 **IBM**，但最终也由日本厂商发扬光大。

EUV 光刻胶：挑战极限，承接化学放大的接力棒

经历近 40 年的发展后，**EUV** 光刻 2019 年率先在台积电量产。**EUV** 光刻胶主要有分子玻璃和金属氧化物两个方向，从分子结构来看，分子玻璃光刻胶与 **OLED** 材料具备诸多的相似之处，而金属氧化物光刻胶主要为稀土和过渡金属有机化合物，与各类金属有机化合物前驱体材料具备一定的相通性。富士胶片、信越化学、住友化学 3 家日本龙头公司合计申请了 **EUV** 光刻胶 80% 以上的专利。

以日为鉴，看光刻胶崛起的天时、地利、人和

日本光刻胶行业的崛起，始于 **KrF** 光刻胶。**IBM** 虽然早在 1980s 早期就实现了对 **KrF** 胶的突破，但整个 80 年代半导体工艺都集中在微米级工艺，**i 线**光刻完全可以胜任，**IBM** 的 **KrF** 胶成了“早产儿”。1995 年东京应化商业化 **KrF** 胶时，恰逢 $0.25\text{-}0.35\mu\text{m}$ 工艺节点，逼近 **i 线**光刻的极限，且尼康成功击败美国三巨头登顶光刻机行业。天时地利下日本光刻胶行业迅速崛起。然而好景不长，尼康在沉浸式光刻技术路线选择上的错误使日本光刻机产业在经历仅仅 10 余年的辉煌后跌落神坛，但光刻胶却乘着半导体工业全球化的浪潮成功留在了日本，时至今日日本仍然占据高端市场 93% 的份额。

机遇与挑战并存

当前我国高端光刻胶与全球先进水平有近 40 年的差距，半导体国产化的大趋势下，国内企业有望逐步突破与国内 **IC** 制造工艺相匹配的光刻胶，同时提前布局国内晶圆厂的下一代工艺，形成半导体工业正常的技术迭代节奏。

风险分析

市场竞争风险、技术替代风险、安全生产风险、专利侵权风险、核心技术泄密及核心技术人员流失的风险。

化工

维持

买入

郑勇

zhengyong@csc.com.cn

010-85130262

执业证书编号：S1440518100005

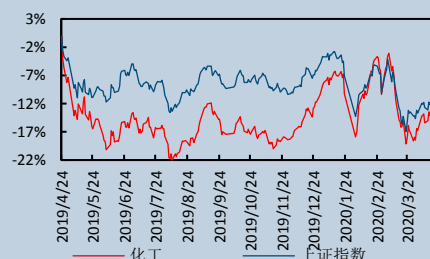
研究助理：胡世超

010-86451498

hushichao@csc.com.cn

发布日期：2020 年 04 月 24 日

市场表现



相关研究报告

每日免费获取报告

- 1.每日微信群内分享**7+**最新重磅报告；
- 2.定期分享**华尔街日报**、**金融时报**、**经济学人**；
- 3.和群成员切磋交流，对接**优质合作资源**；
- 4.累计解锁**8万+**行业报告/案例，**7000+**工具/模板

申明：行业报告均为公开整理，权利归原作者所有，
小编整理自互联网，仅分发做内部学习。

手机用户建议先截屏本页，微信扫一扫

或搜索公众号“**有点报告**”

回复<进群>，加入每日报告分享微信群

限时领取【行业资料大礼包】，回复“2020”获取



(此页只为需要行业资料的朋友提供便利，如果影响您的阅读体验，请多多理解)

目录

以史为鉴，看半导体材料皇冠上的明珠	1
全谱及紫外光刻胶：开山之作	6
柯达 KTFR 光刻胶：光刻胶工业的开创者	6
g 线/i 线光刻胶	6
化学放大光刻胶：来自化学家的魔法	7
KrF 光刻胶	7
ArF 光刻胶	8
EUV 光刻胶：挑战极限，承接化学放大的接力棒	12
分子玻璃光刻胶	13
金属氧化物光刻胶	14
40 年磨一剑，EUV 终量产	16
以日为鉴，看光刻胶崛起的天时、地利、人和	17
天时：IBM 的早产儿、东京应化的恰逢其时	19
地利：弯道超车，日本光刻机成功登顶	20
人和：全球化浪潮下，日本半导体工业留存硕果	24
机遇与挑战并存	25
风险分析	26

图表目录

图 1：典型芯片结构及各层材料示意图	2
图 2：台积电制程时间表	5
图 3：KTFR 光刻胶双叠氮结构及其对环化聚异戊二烯橡胶的交联	6
图 4：PBOCST 光刻胶与光致产酸剂的反应	8
图 5：全球 i 线以上半导体光刻胶销售额	8
图 6：IBM 公司开发的甲基丙烯酸聚合结构	9
图 7：部分具有抗干刻蚀性的富碳官能团	9
图 8：自对准双重图形技术原理示意图	10
图 9：有/无顶部涂层的沉浸式 ArF 光刻	10
图 10：植入式阻挡层（EBL）技术示意图	11
图 11：含 HFA 基团的沉浸式 ArF 光刻胶结构	11
图 12：含氟的 FPR 及基于 FUPU 平台的光刻胶及其它相应单体结构	11
图 13：TFSM 单体及相应的光刻胶	12
图 14：EUV 光刻边缘粗糙度示意图	13
图 15：EUV 光刻胶边缘粗糙度、灵敏度、分辨率的权衡取舍	13
图 16：树枝状分子玻璃光刻胶结构	13
图 17：酚类分子玻璃光刻胶结构	14
图 18：环氧分子玻璃光刻胶结构	14
图 19：三苯基衍生物分子玻璃光刻胶结构	14

图 20: Inpria 金属氧化物负胶的原理示意图	15
图 21: 一种金属氧化物光刻胶的化学结构及刻蚀性能	15
图 22: 半导体工业发展至今已经使用了除放射性元素以外近 2/3 的元素	16
图 23: 全球半导体光刻胶市场份额	17
图 24: 全球 ArF 光刻胶市场份额	17
图 25: 全球 i 线以上半导体光刻胶销售额	20
图 26: 全球半导体销售额分地区占比	22
图 27: 全球半导体及 TSMC、Intel 销售增速	25

表 1: Intel 制程时间线	2
表 2: 光刻胶与集成电路尺寸	5
表 3: EUV 光刻技术发展关键事件	12
表 4: EUV 光刻胶发展关键事件	16
表 5: EUV 光刻胶专利申请量	17
表 6: 光刻胶与集成电路尺寸	18
表 7: 日本光刻胶产品时间线	18
表 8: 1980-1990s Intel 和 TSMC 的工艺节点时间表	20
表 9: 1980-1990s 光刻机行业格局变动	21
表 10: 日美之间行业层面的 6 大贸易冲突	23
表 11: 1980-1990s 光刻机行业格局变动	24

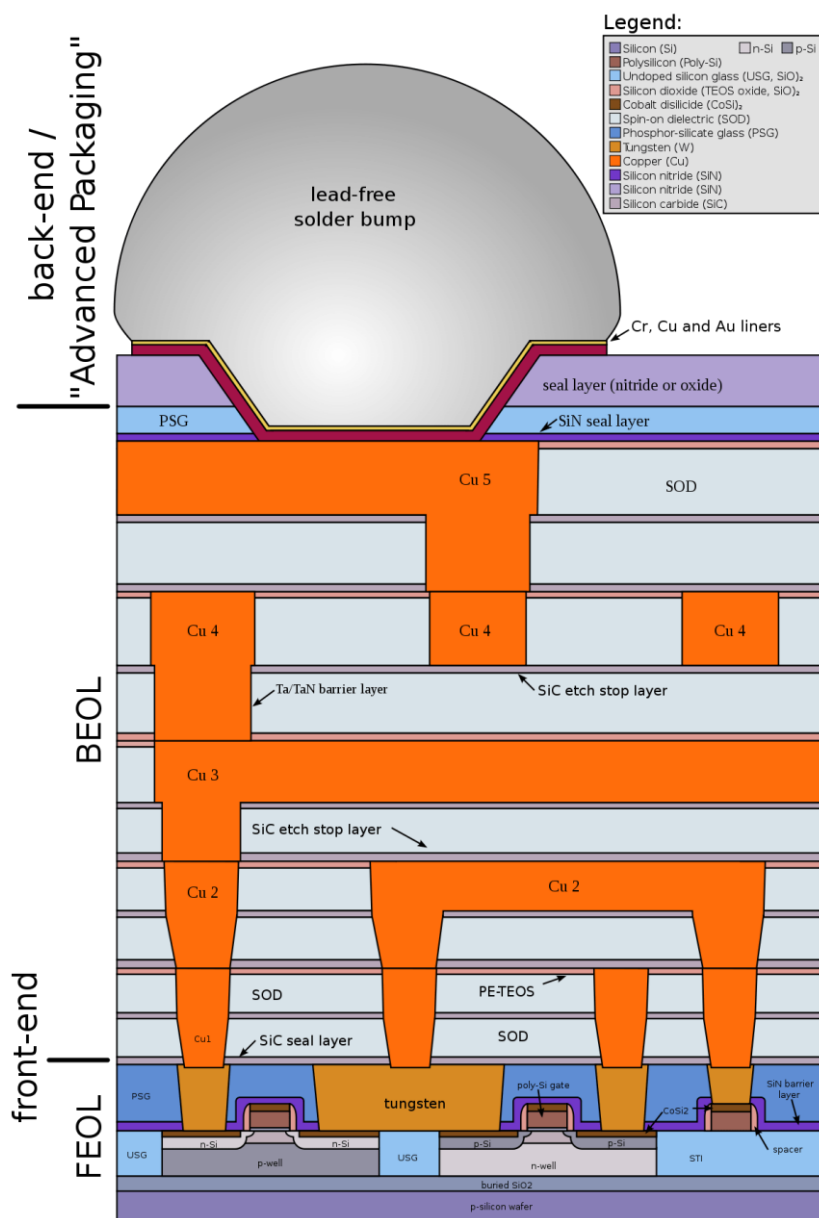
以史为鉴，看半导体材料皇冠上的明珠

半导体工业自上世纪 40-50 年代诞生至今，已经历了 70 余年的发展，从最初的宏观电子管、晶体管发展到如今的 7-10nm，甚至 5nm 工艺节点，芯片结构也由单层结构发展到如今的十余层结构。其突飞猛进的发展离不开光刻工艺的进步。而光刻工艺的进步，必然伴随着光刻机、光源、光刻胶等关键设备、材料的配套发展。

我国半导体工业中，下游设计已经能够进入全球第一梯队，中游晶圆制造也在迎头赶上，而上游设备及材料领域与海外龙头仍存在较大差距。以半导体材料中技术难度最大的光刻胶为例，i 线/g 线光刻胶的产业化始于上世纪 70 年代，KrF 光刻胶的产业化也早在上世纪 80 年代就由 IBM 完成，而我国光刻胶企业目前仅北京科华微电子实现了 KrF 光刻胶的量产供货，光刻胶行业与海外最先进水平有近 40 年的差距，不可谓不大。

以史为鉴，本文通过梳理海外光刻胶行业的发展，以及日本光刻胶行业在起步较晚的情况下，最终超越美国成为后起之秀的过程，结合半导体产业链的转移，对国内光刻胶行业的发展进行总结分析，并总结相应的投资逻辑。




图 1：典型芯片结构及层材料示意图

















资料来源：维基百科、中信建投证券研究发展部

表 1：Intel 制程时间线

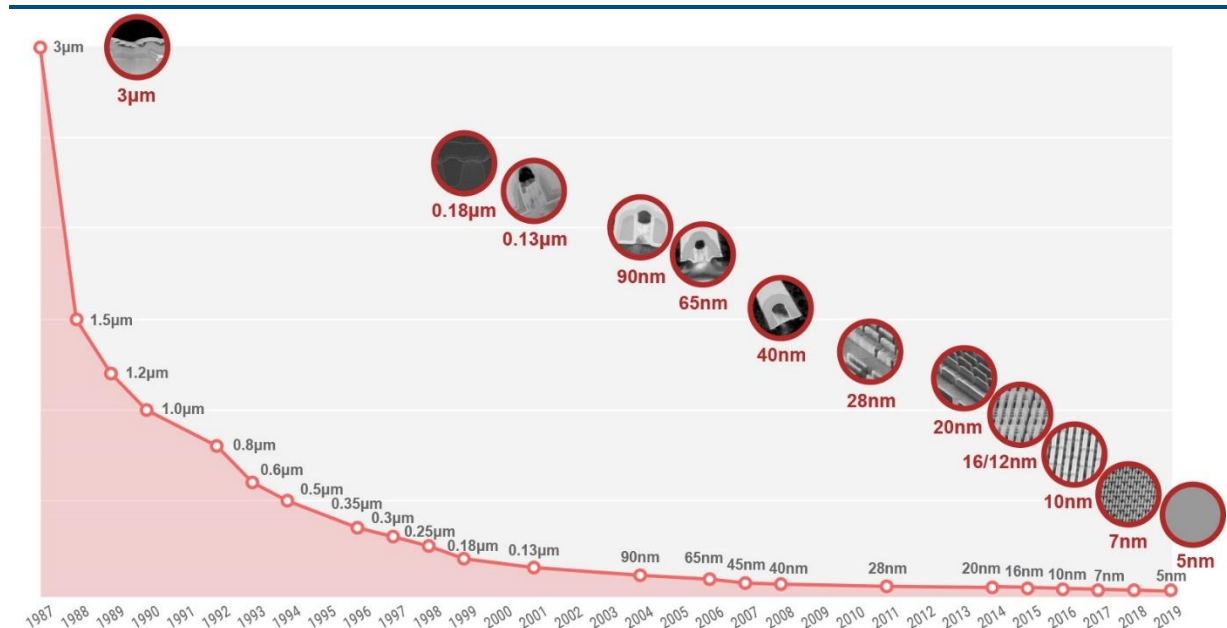
时间	晶圆尺寸	节点	金属层数	微架构	Gate	Interconnects	属性		
1972		10 μm	1	4004			介电层	SiO ₂	
							闸极长度	10.0 μm	
1974		8 μm	1				介电层	SiO ₂	
							闸极长度	8.0 μm	
1976		6 μm	1	8080			介电层	SiO ₂	
							闸极长度	6.0 μm	

时间	晶圆尺寸	节点	金属层数	微架构	Gate	Interconnects	属性			
1977		3 μm	1	8085, 8086, 8088, 80186			介电层厚度	70 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	5 V	SRAM	1120 μm ²
							闸极长度	3.0 μm		
							CPP	7 μm	MMP	11 μm
1979		2 μm	1				介电层厚度	40 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	5 V	SRAM	1740 μm ²
							闸极长度	2.0 μm		
							CPP	5.6 μm	MMP	8 μm
1982	6 寸	1.5 μm	1	80286, 80386			介电层厚度	25 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	5 V	SRAM	951.7 μm ²
							闸极长度	1.5 μm		
							CPP	4.0 μm	MMP	6.4 μm
1987	6 寸	1.0 μm	2	80486			介电层厚度		介电层	SiO ₂
							工作电压	5 V	SRAM	220 μm ²
							闸极长度	1.0 μm		
							CPP		MMP	
1989	6 寸	0.8 μm	3	80486			介电层厚度	15 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	4 V	SRAM	111 μm ²
							闸极长度	800 nm		
							CPP	1.7 μm	MMP	2 μm
1991	6 寸	0.6 μm	4	80486, P5			介电层厚度	8 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	3.3 V	SRAM	
							闸极长度	600 nm		
							CPP		MMP	1.4 μm
1993	8 寸	0.5 μm	4	P5			介电层厚度	8 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	3.3 V	SRAM	44 μm ²
							闸极长度	500 nm		
							CPP		MMP	
1995	8 寸	0.35 μm	4	P6			介电层厚度	6 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	2.5 V	SRAM	20.5 μm ²
							闸极长度	350 nm		
							CPP	920 nm	MMP	880 nm
1997	8 寸	0.25 μm	5	P6			介电层厚度	4.08 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	1.8 V	SRAM	10.26 μm ²
							闸极长度	200 nm		
							CPP	500 nm	MMP	640 nm
1998	8 寸	0.25 μm	5	P6			介电层厚度	4.08 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	1.8 V	SRAM	9.26 μm ²
							闸极长度	200 nm		
							CPP	475 nm	MMP	608 nm
1999	8 寸	0.18 μm	6	NetBurst			介电层厚度	2.0 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	1.6 V	SRAM	5.59 μm ²
							闸极长度	130 nm		
							CPP	480 nm	MMP	500 nm
2001	8 寸	0.13 μm	6	Pentium M			介电层厚度	1.4 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	1.4 V	SRAM	2.45 μm ²
							闸极长度	70 nm		

时间	晶圆尺寸	节点	金属层数	微架构	Gate	Interconnects	属性			
2003	12 寸	90 nm	7	Pentium M			CPP	336 nm	MMP	345 nm
							介电层厚度	1.2 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压	1.2 V	SRAM	1.00 μm^2
							闸极长度	50 nm		
2005	12 寸	65 nm	8	Core, Modified Pentium M			CPP	260 nm	MMP	220 nm
							介电层厚度	1.2 nm	介电层	SiO ₂
							工作电压		SRAM	0.570 μm^2
							闸极长度	35 nm		
2007	12 寸	45 nm	9	Penryn, Nehalem			CPP	220 nm	MMP	210 nm
							介电层厚度	1 nm	介电层	High- κ
							工作电压		SRAM	0.346 μm^2
							闸极长度	25 nm		
2009	12 寸	32 nm	10	Westmere, Sandy Bridge			CPP	160 nm	MMP	180 nm
							介电层厚度	1 nm	介电层	High- κ
							工作电压	0.75 V	SRAM	0.148 μm^2
							闸极长度	30 nm		
2011	12 寸	22 nm	11	Ivy Bridge, Haswell			CPP	112.5 nm	MMP	112.5 nm
							介电层厚度	0.9 nm	介电层	High- κ
							工作电压	0.75 V	SRAM	0.092 μm^2
							闸极长度	26 nm		
							CPP	90 nm	MMP	80 nm
							P _{fin}	60 nm		
2014	12 寸	14 nm	12	Broadwell, Skylake, Kaby Lake, Coffee Lake			W _{fin}	8 nm	H _{fin}	34 nm
							介电层厚度		介电层	High- κ
							工作电压	0.70 V	SRAM	0.0499 μm^2
							闸极长度	20 nm		
							CPP	70 nm	MMP	52 nm
							P _{fin}	42 nm		
2019	12 寸	10 nm	12-13	Cannon Lake, Icelake, Tigerlake, Sapphire Rapids			W _{fin}	8 nm	H _{fin}	42-46 nm
							介电层厚度		介电层	High- κ
							工作电压	0.70 V	SRAM	0.0312 μm^2
							闸极长度	18 nm		
							CPP	54 nm	MMP	36 nm
							P _{fin}	34 nm		
2021	12 寸	7 nm		Granite Rapids			W _{fin}	7 nm	H _{fin}	44-55 nm
2024	12 寸	5 nm								

资料来源: Intel、中信建投证券研究发展部

图 2：台积电制程时间表



资料来源：TSMC、中信建投证券研究发展部

表 2：光刻胶与集成电路尺寸

商业化时间	光刻胶体系	曝光光源	制程节点	晶圆尺寸	开发参与公司
1957	环化橡胶-双叠氮	紫外全谱、g线、i线	2μm 以上	6 英寸及以下	伊士曼柯达（美国）
1972	重氮萘醌-酚醛树脂	g 线（436nm） i 线（365nm）	0.5μm 以上 0.5-0.35μm	6 英寸及以下 8 英寸	Kalle（被德国 Hoechst 收购）、通用贝克莱特（被联合碳化物公司收购，后又剥离至瀚森公司）
1983	聚 4-叔丁氧羰基苯乙烯（PBOCSi）、光致产酸剂	KrF（248nm）	0.25-0.15μm	8 英寸	IBM、3M、TOK、JSR、信越化学等
1990s	丙烯酸酯类共聚物、光致产酸剂	ArF（193nm）	65-130nm	12 英寸	IBM、TOK、JSR 等
2002	丙烯酸酯类共聚物、光致产酸剂	ArFi（193nm）	7-65nm	12 英寸	IBM、陶氏、JSR 等
2019	分子玻璃、金属氧化物	EUV（13.4nm）	7nm 及以下	12 英寸	东京应化、JSR、住友化学、富士胶片、IMEC、Inpria

资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

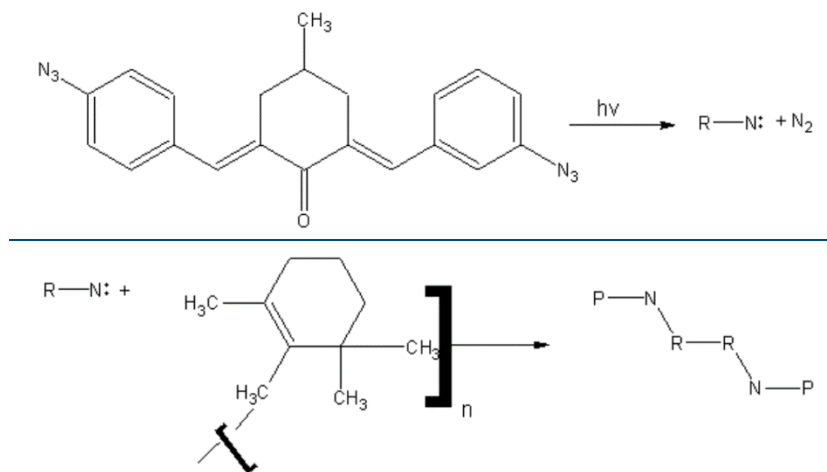
全谱及紫外光刻胶：开山之作

柯达 KTFR 光刻胶：光刻胶工业的开创者

光刻胶的雏形早在 1826 年就已形成，彼时法国发明家约瑟夫·尼塞福尔·涅普斯（Joseph Nicéphore Niépce）利用涂在抛光锡板上的“犹太沥青”（石油去除挥发性组分后的残留物）拍摄了世界上第一张照片。随后 1839 年苏格兰发明家曼戈·庞东（Mungo Ponton）发现了重铬酸盐明胶的感光潜力，英国科学家威廉·亨利·福克斯·塔尔博特（William Henry Fox Talbot）借助重铬酸盐明胶开发了世界上第一套“光刻系统”，即凹版印刷的先驱。1950s 集成电路诞生之前，重铬酸盐明胶体系已经广泛用于印刷领域。

1950s 贝尔实验室尝试开发全球首块集成电路的过程中，理所当然地采用了重铬酸盐明胶体系，半导体光刻胶由此诞生。对于当时的初代光刻工艺来说，重铬酸盐明胶的分辨率已足够，但抗蚀性能不佳，无法充分阻止氢氟酸对二氧化硅的刻蚀。为解决这一问题，贝尔实验室找到伊士曼柯达公司，后者首先开发了聚肉桂酸乙酯体系，其产品以 KPR 商品名称来供应市场。但该材料对二氧化硅的附着力不足；柯达转而寻找具备强附着力的材料，并最终开发出环化橡胶-双叠氮体系：该体系由环化聚异戊二烯橡胶与双叠氮 2,6-二(4-叠氮苯)-4-甲基环己酮混合而成，柯达将此光刻胶命名为 Kodak Thin Film Resist（柯达薄膜抗蚀剂），也即 KTFR 光刻胶。该体系在 1957-1972 年间一直为半导体工业的主力体系，为半导体工业的发展立下了汗马功劳。直至 1972 年左右，半导体工艺制程节点发展到 2μm，触及 KTFR 光刻胶分辨率的极限。

图 3：KTFR 光刻胶双叠氮结构及其对环化聚异戊二烯橡胶的交联



资料来源：PSEC、中信建投证券研究发展部

g 线/i 线光刻胶

随着光刻设备进一步提升，曝光波长进一步缩短，光刻胶厂商开始再次寻找分辨率更高的新一代光刻胶材料。德国 Kalle 公司的化学家在 20 世纪初就发现重氮盐具有良好光敏性，并利用其复制工程图纸（蓝图）。1930s 以后，Kalle 公司的化学家开始利用重氮萘醌制作印刷材料。为了提升材料的成膜性，他们在其中加入了酚醛树脂，制成重氮萘醌-酚醛树脂印刷材料（DNQ/Novolac），商品名 Ozatec 并在 1950 年左右推向了市场，此时 Kalle 公司已经成为 Hoechst AG 的子公司，并由另一家美国子公司 Azoplate 负责 Ozatec 在美国的销售。贝尔实验室与 Azoplate 隔街相望，在一次意外尝试中发现重氮萘醌-酚醛树脂具有优良的抗刻蚀性能，由此开启了重氮萘醌-酚醛树脂光刻胶体系在半导体工业中的大规模应用。重氮萘醌-酚醛树脂光刻胶被命名为“AZ 光刻胶”，并继续

由 Hoechst AG 美国子公司 Azoplate 销售。随着光刻技术的进步，重氮萘醌-酚醛树脂型光刻胶 (DNQ/ Novolac) 的市场占有率迅速提高，至 1972 年时已经基本占据全部市场，并在此后的 25 年间维持了 90% 以上的市场份额。实际上容量 16KB-16MB 的 DRAM 芯片基本都是用重氮萘醌-酚醛树脂体系光刻胶制造的。伴随着光刻技术的发展，重氮萘醌系光刻胶的性能也在不断提升，其曝光光源可以采用 g 线、i 线，如今在利用了 High-NA 技术的 i 线光源下，其分辨率极限已经可以达到 0.25 μ m。

欧美厂商领导了前期光刻胶产品的研发，日本厂商在光刻胶研发方面起步较晚。东京应化 (TOK) 在 1968 年研发出首个环化橡胶系光刻胶产品 MOR-81，1972 年开发出日本首个重氮醌类光刻胶 OFPR-2，1980s 才进入到 g 线/i 线光刻胶业务-TSMR 产品。而 JSR 于 1979 年才进入半导体材料业务，始销售首个光刻胶产品 CIR。信越化学也在 1998 年实现了光刻胶产品的商业化。

化学放大光刻胶：来自化学家的魔法

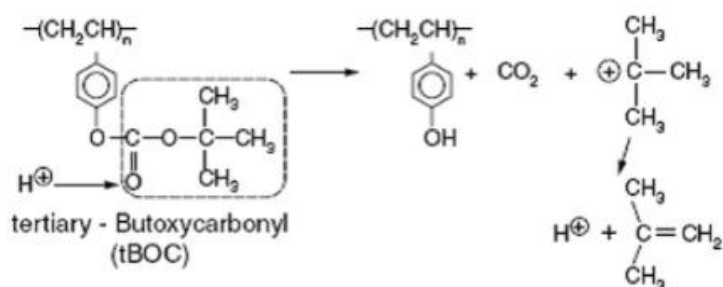
KrF 光刻胶

20 世纪 80 年代，深紫外 (DUV) 光刻系统开始逐步投入使用，随着光刻系统所用波长的逐步降低，光源强度逐步成为制约生产效率的瓶颈：传统汞灯在深紫外区的发光强度较低，而准分子激光器的发光强度也很有限，这就导致光刻工艺所需曝光时间延长，生产效率大幅降低。面对这种情况，半导体工业必须着手改进，一个选择是开发高功率光源，另一个选择是提高光刻胶的感光灵敏度，亦或两手抓两手都要硬。

以史为鉴，这一问题的解决是通过化学放大光刻胶实现的：化学放大型光刻胶主要有 4 个组分，成膜树脂、光致产酸剂、添加剂及溶剂。其作用机理是光致产酸剂吸收光生成酸，酸催化成膜树脂发生脱保护反应，实现树脂由不溶于显影液向溶于显影液的转变，即通过曝光与烘烤改变光刻胶显影液中的溶解速度。这一过程中，酸作为催化剂，不会被消耗，因此可以将光的信号放大为化学信号，这也是这一类光刻胶称为化学放大型光刻胶的原因。化学放大型光刻胶的光利用效率远高于传统的感光化合物基光刻胶。化学放大法是几乎所有现代光刻胶成功的关键因素。

IBM 公司的科学家们在研究 64K DRAM 的生产工具时，领导了对化学放大光刻胶的研发。Ito 和 Willson 等人以聚 4-羟基苯乙烯 (PHOST) 作为树脂材料，并且加入 t-丁氧基羰基 (t-BOC) 保护羟基，这一新的聚合物就是 PBOCST。PBOCST 光刻胶暴露在 248nm 深紫外光下时，PAG 产生的酸会打开 t-BOC 保护基团，光刻胶溶解性发生显著变化。打开 t-BOC 的过程中，PAG 产生的酸并不会被消耗，因此 PBOCST 光刻胶反应速度极快，对深紫外光非常敏感，灵敏度提高了 100-200 倍。PBOCST 光刻胶为 IBM 节省了用来修改和替换光刻工具的数百万美元。

图 4：PBOCST 光刻胶与光致产酸剂的反应

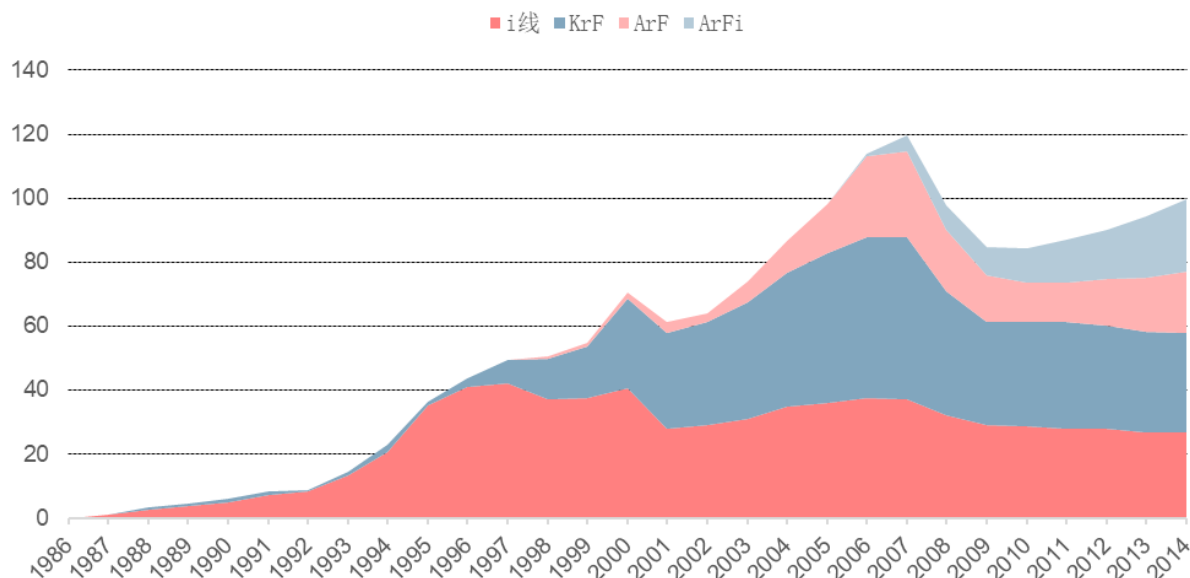


资料来源：PSEC、中信建投证券研究发展部

事实上，IBM 在 1980s 早期就突破了 KrF 光刻，并在 1980s 早期至 1995 年的十余年时间一直保持垄断地位。但在此期间，KrF 光刻胶的市场增速缓慢，并未大规模放量，我们认为主要由于 1980s-1995 年，半导体工艺节点主要集中在 $1.5\mu m$ - $0.35\mu m$ ，这一范围的工艺可以用 i 线光刻实现，从而使 KrF 光刻成为了“早产儿”，半导体工业的发展尚未到达需要 KrF 光刻大规模放量的时代。1995 年日本东京应化（TOK）成功突破了高分辨率 KrF 正性光刻胶 TDUR-P007/009 并实现了商业化销售，打破了 IBM 对于 KrF 光刻胶的垄断，而与此同时，半导体工艺节点发展到了 0.25 - $0.35\mu m$ ，逼近了 i 线（ $365nm$ 波长，已经与特征尺寸 $0.35\mu m=350nm$ 接近）光刻的极限。此外，光刻机市场也由此前美国厂商主导逐步演变为佳能、尼康为龙头的时代。天时地利俱备的情况下，日本 KrF 光刻胶迅速放量占据市场，光刻胶市场也正式进入了日本厂商的霸主时代。

图 5：全球 i 线以上半导体光刻胶销售额

单位：十亿日元



资料来源：Sumitomo chemical、中信建投证券研究发展部

ArF 光刻胶

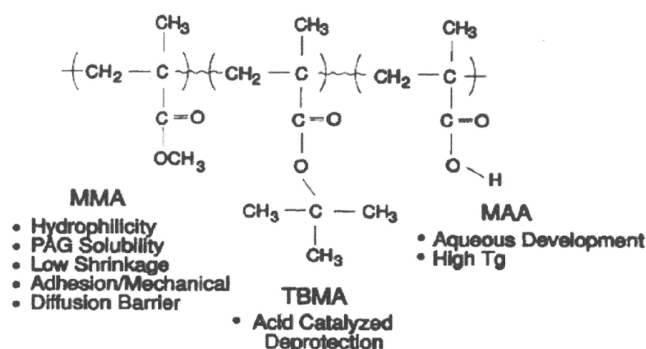
当集成电路制造工艺发展到 $90nm$ 节点时，ArF 光刻技术（ $193nm$ ）逐步发展为主流技术。ArF 光刻技术前

后主要分为两个方向：干法光刻和沉浸式光刻。原本用于 KrF 光刻系统的 PBOCST 光刻胶在 193nm 的波长下会表现出强烈的吸收，不能满足新的光刻要求。ArF 光刻胶的设计思想沿袭了 KrF 光刻胶，继续使用了化学放大法。日本厂商一定程度上领导了 ArF 光刻胶的研究开发。

干法 ArF 光刻胶

ArF 光刻胶也属于化学放大光刻胶，其雏形也源自 IBM 公司，由于 KrF 光刻胶使用的聚对羟基苯乙烯体系对 193nm 深紫外光有强烈的吸收（主要源自其结构中的苯环），因此该体系不适用于 ArF 光刻。为解决这一问题，1991 年 IBM 公司设计出 ArF 光刻胶的原型：甲基丙烯酸甲酯（MMA）、甲基丙烯酸丁酯（TBMA）和甲基丙烯酸（MAA）三元共聚物，其中甲基丙烯酸丁酯起到了光致产酸剂的作用，通过调整各组分的比例可以实现对光刻胶性能的微调。虽然该体系因不耐干刻蚀而不具备直接使用的价值，但后续各厂商开发的 ArF 光刻胶体系基本都是以此为雏形，通过在侧链中引入保护性基团提高其耐干刻蚀性能而制成。引入的侧链保护基团主要为富碳基团，如金刚烷、降冰片烷、三环癸基等。

图 6：IBM 公司开发的甲基丙烯酸聚合结构



资料来源：PSEC、中信建投证券研究发展部

图 7：部分具有抗干刻蚀性的富碳官能团



资料来源：PSEC、中信建投证券研究发展部

2000 年半导体工艺开发联盟 IMEC 正式将 JSR 的 ArF 光刻胶用作下一代半导体 0.13μm 工艺的抗蚀剂。东京应化（TOK）也在 2001 年推出了自己的 ArF 光刻胶产品 TARF-P 系列。

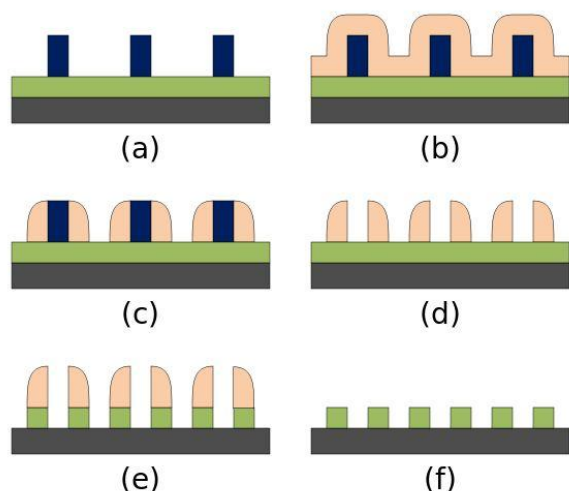
沉浸式 ArF 光刻胶

沉浸式光刻技术的概念最早在上世纪 80 年代提出，即在投影镜头和基片之间填充液体。沉浸式光刻技术在 20 世纪并没有得到很好的发展，一方面由于沉浸式工艺本身的缺陷，如工艺复杂及污染等方面的问题；另一方面通过缩短曝光波长等方式仍然可以有效地提高分辨率。直到 2002 年 157nm F₂ 光刻技术发展举步维艰，沉浸式 ArF 光刻技术才重新受到重视。

沉浸式 ArF 光刻技术在 65nm 及以下的工艺节点开始取得巨大的突破。2004 年 JSR 首次通过 ArF 沉浸式

光刻成功实现了 32 nm 分辨率，引领了巨大的技术变革。2006 年 JSR 又与 IBM 合作，通过 ArF 沉浸式光刻成功实现了 30 nm 及更小的线宽。此外，由于 157 nm 光刻技术在 21 世纪初被英特尔和其他芯片制造商放弃，在 2007 年版的国际半导体技术路线图中，基于纯水的 193nm 沉浸式 ArF 及双重图形曝光技术被认定为 45nm 工艺的唯一选择。现阶段在双重图形（Double Patterning）/多重图形（Multi-Patterning）曝光技术的加持下，工艺节点已经延伸至 7-10nm。

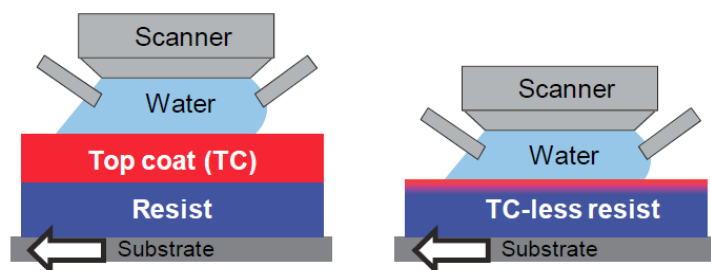
图 8：自对准双重图形技术原理示意图



资料来源：维基百科、中信建投证券研究发展部

沉浸式 ArF 光刻技术使用了液体介质，虽然提高了光刻分辨率，但也对光刻胶提出了更高的要求。沉浸式 ArF 光刻胶的开发重点之一就是要解决光致产酸剂和其他组分在液体中的浸出。因此工艺开发主要在于两方面，一个是顶部涂层（Top coat, TC）材料的设计，另一个是防光致产酸剂浸出的光刻胶材料开发。早期的沉浸式光刻研究中，使用的仍是干式光刻技术的光刻胶，主要通过增加一层顶部涂层来解决工艺方面的问题。科学家开发了植入式阻挡层（Embedded barrier layer, EBL）技术，通过添加特种表面活性剂，在旋涂过程中扩散到光刻胶表面形成 EBL 层，防止光刻胶成分的浸出。

图 9：有/无顶部涂层的沉浸式 ArF 光刻



资料来源：Photolithography、中信建投证券研究发展部

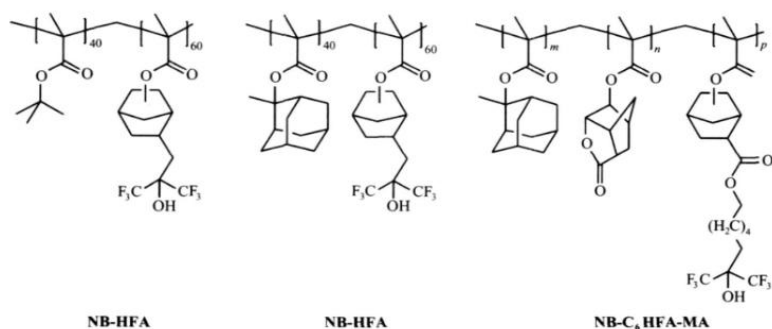
图 10：植入式阻挡层（EBL）技术示意图



资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

防光致产酸剂浸出的光刻胶材料仍主要采用聚甲基丙烯酸酯体系，并且基本以选用各种含氟代烷基的聚合物来达到特殊的工艺要求，但其中很多聚合物仍在实验研究阶段，还有待进一步商品化。早期沉浸式材料研究中，科学家较多使用氟代烷基，其中六氟叔丁醇基团（hexafluoroalcohol, HFA）在沉浸式光刻材料中备受青睐。

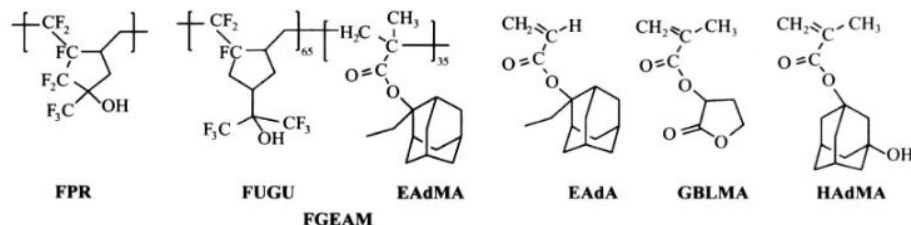
图 11：含 HFA 基团的沉浸式 ArF 光刻胶结构



资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

许多用于 157nm 光刻系统的含氟光刻胶在沉浸式 ArF 光刻系统中也有良好的应用。含氟的 FPR 及 FUGU 平台早期应用于 157nm F2 光刻胶，通过与 EAdMA、GBLMA、HAdMA 等物质聚合，在 193nm 也会有良好的光敏性。将具有羟基保护基团的 FUGU 聚合物和传统的 193 nm ArF 光刻胶共混，就可以直接应用于沉浸式工艺中而无需使用顶部涂层。

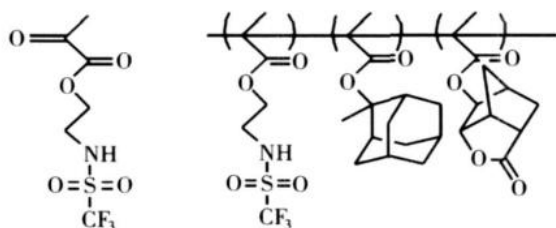
图 12：含氟的 FPR 及基于 FUGU 平台的光刻胶及其它相应单体结构



资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

三氟甲基磺酰胺基团（trifluoromethyl sulfonamide, TFMS）也应用于 193 nm 沉浸式 ArF 光刻胶的研究中。含 TFMS 基团的光刻胶具有更好的碱溶性和抗蚀能力，在 45nm 工艺中均能得到好的等幅线宽（line/space）、沟槽（trench）及接触孔（contact hole），是目前最好的沉浸式光刻胶之一。

图 13：TFSM 单体及相应的光刻胶



资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

另外一种开发沉浸式 ArF 光刻胶的思路是加入猝灭剂，限制光致产酸剂的浸出。陶氏化学公司就研究在光刻胶中加入一种光基猝灭剂来限制光致产酸剂的扩散。另外陶氏化学公司也在尝试将光致产酸剂置入块状树脂，从而限制光致产酸剂的扩散。

EUV 光刻胶：挑战极限，承接化学放大的接力棒

随着沉浸式 ArF 光刻技术进一步开发，双重图形（Double Patterning）/多重图形（Multi-Patterning）曝光技术将工艺节点延伸至 10nm 以下。但是 7nm 节点的沉浸式 ArF 光刻技术工艺复杂程度急剧提高，晶圆工厂迫切需要新一代 EUV 光刻技术。

全球 EUV 光刻技术的研发始于 20 世纪 80 年代，经过近 40 年的发展，EUV 技术从原理到零部件再到原材料等已经足够成熟。2019 年 5 月，台积电官方宣布量产 7nm N7+ 工艺，这是台积电第一次、也是行业第一次量产 EUV 极紫外光刻技术。2020 年 2 月 20 日，三星宣布其首条基于极紫外光刻（EUV）技术的半导体生产线 V1 开始大规模量产。2020 年 3 月，三星宣布开始出货 10nm EUV 级 DRAM 产品，并且开始投建 5nm EUV 生产线。台积电也宣布其 5nm 制程即将在 2020 年第二季度量产。

表 3：EUV 光刻技术发展关键事件

时间	关键事件
1980s	EUV 光刻技术研发开始
2006	ASML 开发 EUV 样机，分辨率 32nm
2010	ASML 开发试验性 EUV 光刻机，分辨率 27nm
2012	ASML 开发 NXE3300B 光刻机，分辨率 22nm
2013	ASML 首批 2 台 EUV 光刻机量产
2014	ASML 开发 NXE3350B 光刻机，分辨率 16nm
2017	ASML 开发 NXE3400B 光刻机，分辨率 13nm
2019	台积电全行业首次量产 7nm N7+EUV 工艺
2020	三星量产 EUV 工艺
2022	ASML 预计下一代 EUV 光刻机（支持 2nm 甚至 1nm 工艺）开始出货
2024-2025	下一代 EUV 光刻机大规模量产

资料来源：国际电子商情、中信建投证券研究发展部

随着线宽的不断减小，EUV 光刻胶必面临 RLS（分辨率、边缘粗糙度、灵敏度）的挑战，即在光刻胶的分辨率、边缘粗糙度（LER）和光敏性 3 者之间只能实现 2 个参数的最优化，随着线宽的不断减小，LER 对图形

的影响越来越大。

图 14: EUV 光刻边缘粗糙度示意图

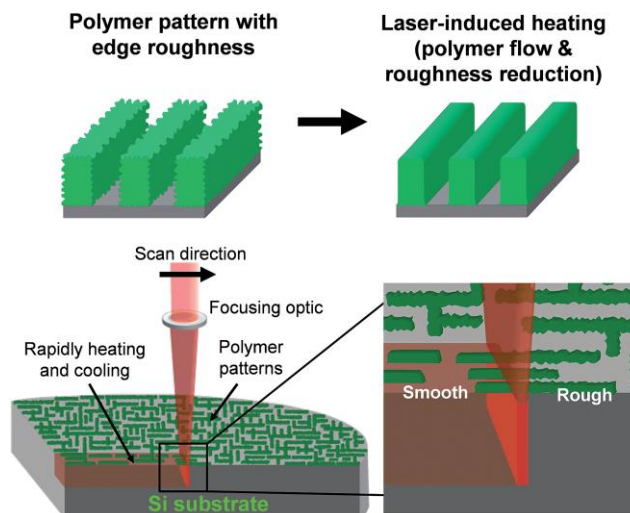
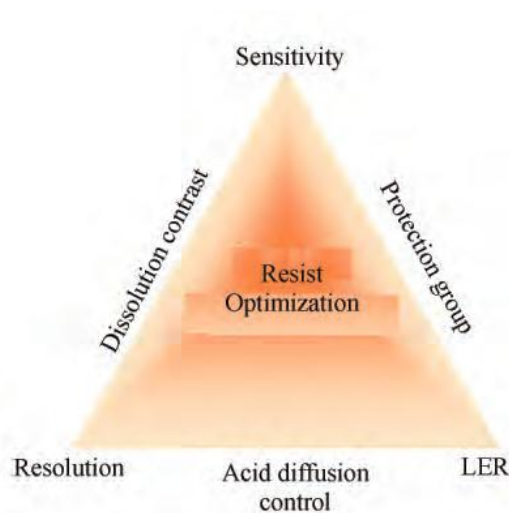


图 15: EUV 光刻胶边缘粗糙度、灵敏度、分辨率的权衡取舍



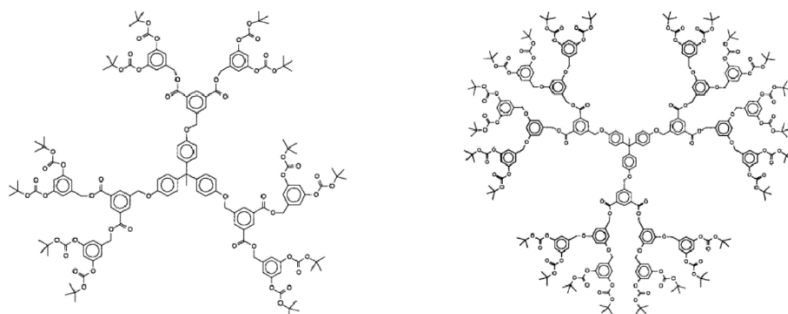
资料来源: JMCC、CNKI、中信建投证券研究发展部

减小 LER 可以从以下 4 方面入手:一是增加碱性添加剂;二是在树脂上通过化学键连接光致产酸剂(PAG);三是分子玻璃光刻胶;四是基于金属氧化物的光刻胶。上述的 4 个方法中,增加碱性添加剂主要是为了控制酸的扩散,但是增加碱性添加剂后需要更大的曝光能量,也就是损失了光刻胶的光敏性。将 PAG 键合到树脂上,可以实现对酸扩散的精确控制,但是大部分的研究只是将阳离子固定在树脂上,曝光后生成的酸是游离的,这样并没有太大的作用,而将阴离子固定在树脂上,制备过程比较困难。第 3 种和第 4 种方案,也就是分子玻璃光刻胶的研究与金属氧化物光刻胶是比较有前景的 EUV 光刻胶技术。

分子玻璃光刻胶

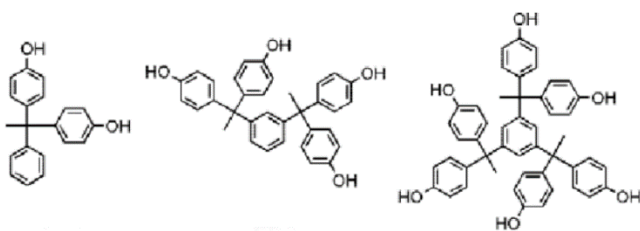
分子玻璃是一种具有较高玻璃态转变温度的小分子有机化合物,集聚合物与小分子的优点于一身。常见的分子玻璃类化合物包括支化型,四面体型,树枝状型、杯芳烃、富勒烯、多元酚和聚噻吩等。从分子结构来看,分子玻璃光刻胶与 OLED 材料具备诸多的相似之处。

图 16: 树枝状分子玻璃光刻胶结构



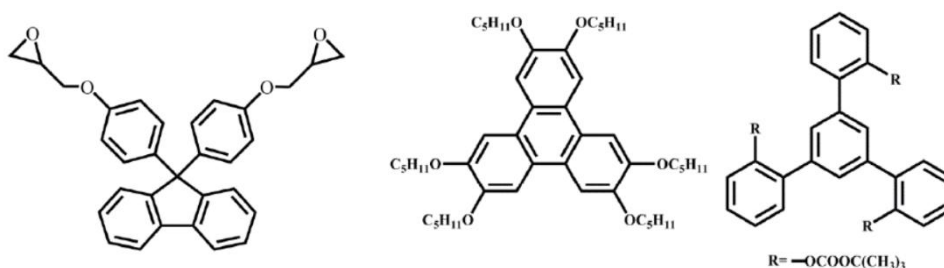
资料来源: CNKI、中信建投证券研究发展部

图 17：酚类分子玻璃光刻胶结构



资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

图 18：环氧分子玻璃光刻胶结构 图 19：三苯基衍生物分子玻璃光刻胶结构



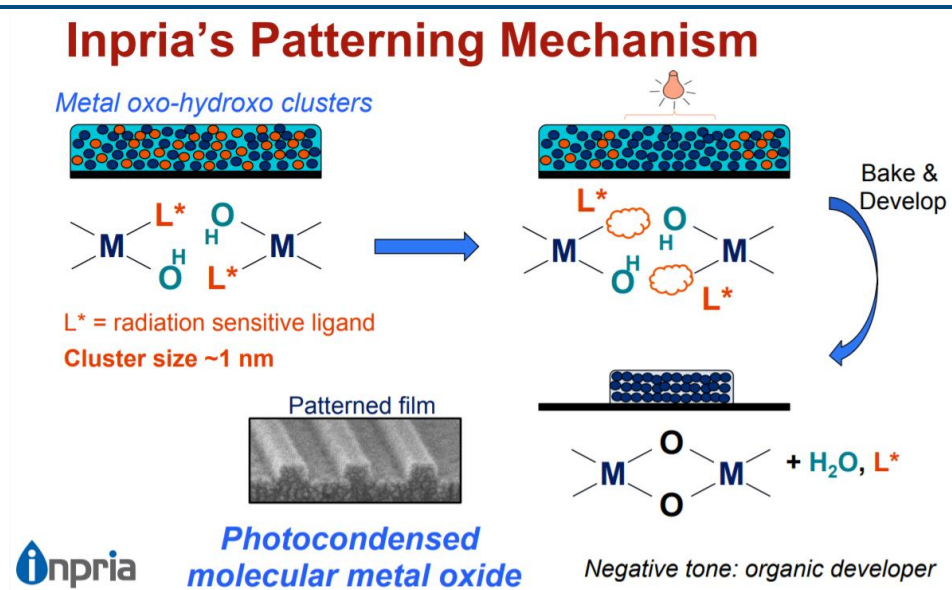
资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

金属氧化物光刻胶

金属氧化物光刻胶为另一条具备使用潜力的技术路线，其龙头和先驱者为美国 Inpria。Inpria 诞生于 2007 年，总部位于美国俄勒冈州科瓦利斯市，由俄勒冈州立大学无机化学家 Douglas A. Keszler 和前 Intel 光刻部门副总监 Andrew Grenville 所创办，先后获得了包括三星创投、JSR、Intel Capital、SK 海力士、台积电、法液空、东京应化等半导体及材料龙头厂商的投资。

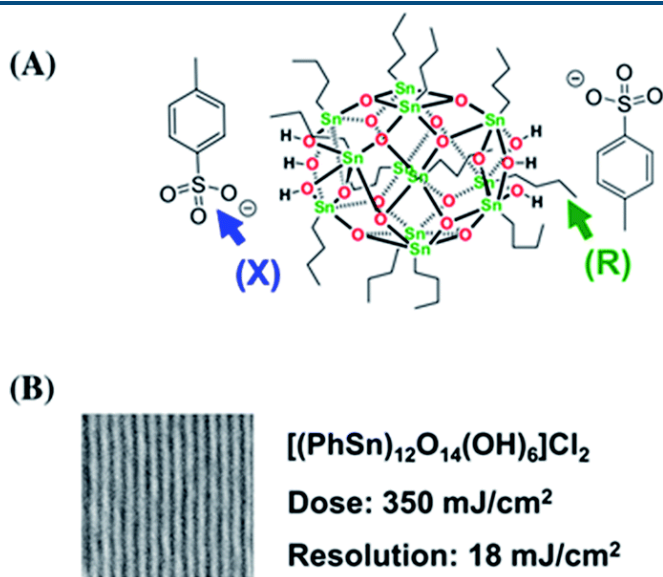
金属氧化物光刻胶使用金属离子及有机配体构建其主体结构，有机配体中包含光敏基团，借助光敏基团的感光及其引发的后续反应实现光刻胶所需的性能。从化学组成来看，金属氧化物光刻胶主要为稀土和过渡金属有机化合物，与包括 high-k 前驱体在内的各类金属前驱体材料具备一定的相通性。

图 20: Inpria 金属氧化物负胶的原理示意图



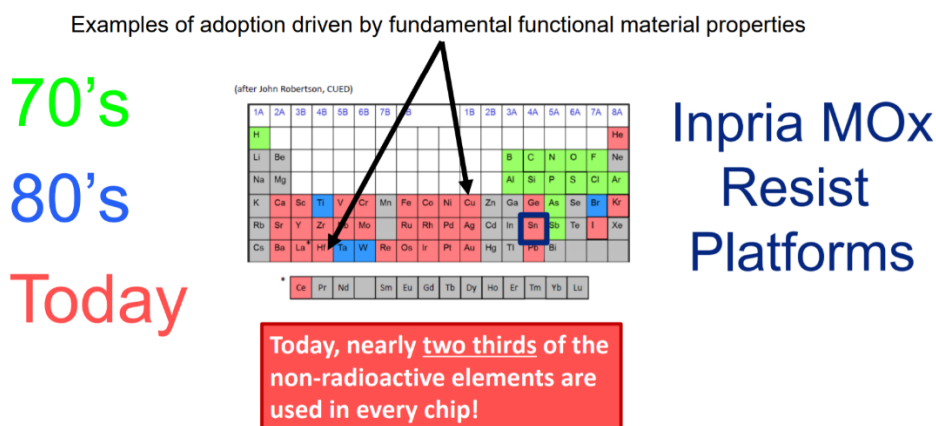
资料来源: Inpria、中信建投证券研究发展部

图 21: 一种金属氧化物光刻胶的化学结构及刻蚀性能



资料来源: RSC Advances、中信建投证券研究发展部

图 22：半导体工业发展至今已经使用了除放射性元素以外近 2/3 的元素



资料来源：Inpria、中信建投证券研究发展部

40 年磨一剑，EUV 终量产

EUV 光刻技术由日本 NNT 和美国贝尔实验室的研究小组在 20 世纪 80 年代提出，时至今日历史近 40 年，EUV 光刻胶的研发可以追溯至 1994 年，在 2000 年之后逐步成熟：2002 年，东芝开发出分辨率达到 22nm 的低分子 EUV 光刻胶。东京应化（TOK）与信越化学都参与到了 SEMATECH 的 EUV 光刻胶的开发工作，其中 JSR 在 2011 年与 SEMATECH 联合开发出用于 15nm 工艺的化学放大型 EUV 光刻胶。JSR 和 IMEC 在 2016 年成立了 EUV 光刻胶制造合资企业-EUV 抗蚀剂制造和鉴定中心(EUV RMQC)。2017 年三星创投(Samsung Ventures)、JSR、Intel Capital 等公司投资了 EUV 光刻胶先驱 Inpria。Inpria 生产了一种包含氧化锡的 EUV 光刻胶，这种光刻胶具有良好的灵敏度，将 EUV 的吸收效率提升了 4 倍，并且可以实现更简单的制造流程和更大的工艺窗口。

泛林集团（Lam ResearchCorp）在 2020 年 2 月发布了与阿斯麦(ASML)和比利时微电子研究中心(IMEC)共同研发的全新干膜光刻胶技术，这一方案具有显著的 EUV 光敏性和分辨率优势，优化了单次 EUV 光刻晶圆的总成本。干膜光刻胶是没有溶剂的固态胶，因而在应用过程中省掉了匀胶、烘焙固化等步骤，工艺简单。此外，干膜光刻胶可以多层叠加，可制作厚度为几百微米的微结构。干膜光刻胶有很多优点：与衬底黏附性良好，薄厚均匀，不会出现边缘凸起，曝光后线条清晰且具有良好的高深比。

表 4：EUV 光刻胶发展关键事件

时间	关键事件
1994	EUV 光刻胶研发起始
2002	东芝开发出分辨率达到 22nm 的低分子 EUV 光刻胶
2011	JSR 与 SEMATECH 联合开发出用于 15nm 工艺的化学放大型 EUV 光刻胶
2016	JSR 和 IMEC 成立 EUV 光刻胶制造合资企业-EUV 抗蚀剂制造和鉴定中心（EUV RMQC）
2017	三星创投（Samsung Ventures）、JSR、Intel Capital 等公司投资了 EUV 光刻胶先驱 Inpria，后者开发了含氧化锡的 EUV 光刻胶

资料来源：国际电子商情、中信建投证券研究发展部

从专利数量来看，2000 年之后 EUV 光刻胶的专利申请量快速增长，并在 2010 年之后迎来井喷式爆发，2013 年以后专利申请量逐步减少，一方面由于技术发展逐步成熟，另一方面源于统计误差（较新的专利可能未公布）。从专利申请量来看，富士胶片、信越化学、住友化学 3 家日本龙头公司合计申请了行业 80% 以上的专利。

表 5：EUV 光刻胶专利申请量

申请人	申请量	按时间
富士胶片	422	<p>EUV 光刻胶专利数量</p>
信越化学	137	
住友化学	119	
罗门哈斯	54	
松下电器	23	
陶氏化学	19	
东京应化	14	
JSR	12	
出光兴产	11	
三星电子	10	

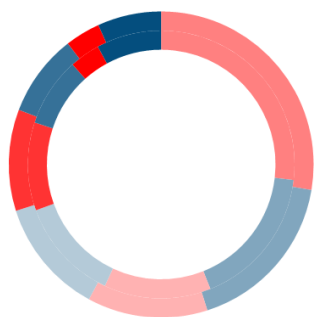
资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

以日为鉴，看光刻胶崛起的天时、地利、人和

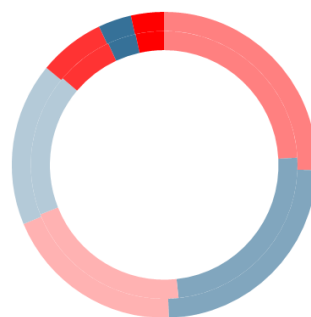
当前，日本光刻胶企业在全世界光刻胶市场中可谓占据绝对的支配地位，全品类半导体光刻胶市场中，东京应化、JSR、住友化学、信越化学、富士胶片等厂商合计占据了 70% 的市场份额。EUV 光刻胶市场目前还不具备足够的透明度，仅次于 EUV 光刻胶的 ArF 光刻胶，日本厂商的市场份额合计达到了 93%，可以说全球的高端半导体光刻胶绝大部分依赖日本供应。

图 23：全球半导体光刻胶市场份额 内环 2017，外环 2018 图 24：全球 ArF 光刻胶市场份额 内环 2017，外环 2018

■ 东京应化 ■ JSR ■ 陶氏杜邦 ■ 住友化学 ■ 东进世美肯 ■ 信越化学 ■ 富士胶片 ■ 其他



■ JSR ■ 信越化学 ■ 东京应化 ■ 住友化学 ■ 富士胶片 ■ 陶氏杜邦 ■ 其他



资料来源：富士经济、中信建投证券研究发展部

从上文梳理的全球光刻胶演变史中可以看出，整个半导体行业起源自美国，光刻胶也不例外，柯达公司的 KTFR 光刻胶可谓半导体光刻胶的开天辟地之作，直至上世纪 80 年代，IBM 仍然在 KrF 光刻胶的开发中遥遥

领先，日本企业直至 1995 年才实现了 KrF 光刻胶的商业化，落后 IBM 十余年时间。但 IBM 虽然率先突破了 KrF 光刻胶，但在市场开拓方面却进展缓慢；而日本东京应化在 1995 年商业化 KrF 光刻胶后便迅速占领市场，日本厂商也一跃成为行业第一梯队。

日本何以在表面上技术落后的情况下实现后发制人，一举反超坐稳行业头把交椅？我们认为其占据了上世纪 90 年代半导体工业发展的天时、地利与人和。

表 6：光刻胶与集成电路尺寸

全球突破时间	日本突破时间	光刻胶体系	曝光光源	制程节点	晶圆尺寸
1957	1968	环化橡胶-双叠氮	紫外全谱、g 线、i 线	2μm 以上	6 英寸及以下
1972	1972	重氮萘醌-酚醛树脂	g 线（436nm）	0.5μm 以上	6 英寸及以下
	1987		i 线（365nm）	0.5-0.35μm	8 英寸
1980s	1995	248nm 光刻胶	KrF（248nm）	0.25-0.15μm	8 英寸
1990s	1990s	193nm 光刻胶	ArF（193nm）	65-130nm	12 英寸
2004	2004	193nm 光刻胶	ArFi（193nm）	10-65nm	12 英寸
2002 至今持续开发		EUV 光刻胶	EUV（13.4nm）	7nm 以下	12 英寸

资料来源：CNKI、中信建投证券研究发展部

表 7：日本光刻胶产品时间线

年份	公司	产品名称	主要成分	产品线
1968	TOK	OMR-81	环化橡胶系	紫外全谱
1971	TOK	OMR-83	环化橡胶系	紫外全谱
1972	TOK	OFPR-2（日本首个半导体正性光刻胶）	邻重氮醌类	g 线
1978	TOK	OEPR		电子束光刻胶
		ODUR		g 线
1979	TOK	OFPR-800	邻重氮醌类	g 线
	JSR	CIR		
1980	TOK	OMR-85	环化橡胶系	紫外全谱
1982	JSR	PFR		
1984	TOK	OFPR-5000	邻重氮醌类	紫外全谱
1985	TOK	TSMR-8800		g 线
1987	TOK	TSMR-8700、8900		g 线
		TSMR-365iB		i 线光刻胶
		TSMR-V 系列		g 线
		TSMR-CR 系列		g 线
1991	TOK	THMR-iP1700 和 iP1800		i 线光刻胶
		THMR-iP2000		i 线光刻胶
1992	TOK	TSCR 系列		i 线光刻胶

年份	公司	产品名称	主要成分	产品线
		TSMR-V90		g 线
		THMR-iP3100		i 线光刻胶
1993	TOK	THMR-iP3300		i 线光刻胶
		THMR-Ip3500		i 线光刻胶
1995	TOK	TDUR-P007 / 009		248nmKrF 光刻胶
		TDUR-N908		248nmKrF 光刻胶
1996	TOK	THMR-iP3650		i 线光刻胶
		THMR-iN PS4		i 线光刻胶
		THMR-iP9600		i 线光刻胶
1997	TOK	TDMR-AR80		i 线光刻胶
1998	TOK	TDUR-P601		248nmKrF 光刻胶
	日本信越	实现光刻胶产品的商业化		
2001	TOK	TARF-P 系列		193nmArF 光刻胶
2002	TOK	OEER-CAN021		电子束光刻胶
2003	TOK	TMMR		用于 MEMS 的永久光刻胶
2004	JSR	通过 ArF 浸没曝光成功实现 32 nm 分辨率(全球首创)		193nmArFi
2006	JSR	JSR 和 IBM 使用 ArF 浸没技术成功曝光了 30 nm 或更小的线宽		193nmArFi

资料来源：公司官网、中信建投证券研究发展部

天时：IBM 的早产儿、东京应化的恰逢其时

技术必须与市场相匹配，才能够发扬光大。从 Intel 和 TSMC 的工艺节点可以看出，1980s IBM 突破 KrF 光刻时，半导体工艺节点还主要集中在微米级的工艺，这一级别的工艺，i 线光刻完全可以胜任，采用成本更高的 KrF 光刻实无必要，半导体工业也不太可能从微米级工艺瞬间跳跃至 0.25 μm 工艺节点。因此，IBM 的 KrF 光刻胶可以说是生不逢时的早产儿。

如果仅仅是生不逢时，等到半导体工业发展到 1990s 年代逐步过渡到 KrF 光刻时，IBM 应当仍能迅速放量占领市场。但实际上在 IBM 技术领先 10 余年的情况下，笑到最后的却是日本厂商，这又与光刻机及半导体产业的全球化分工相关。

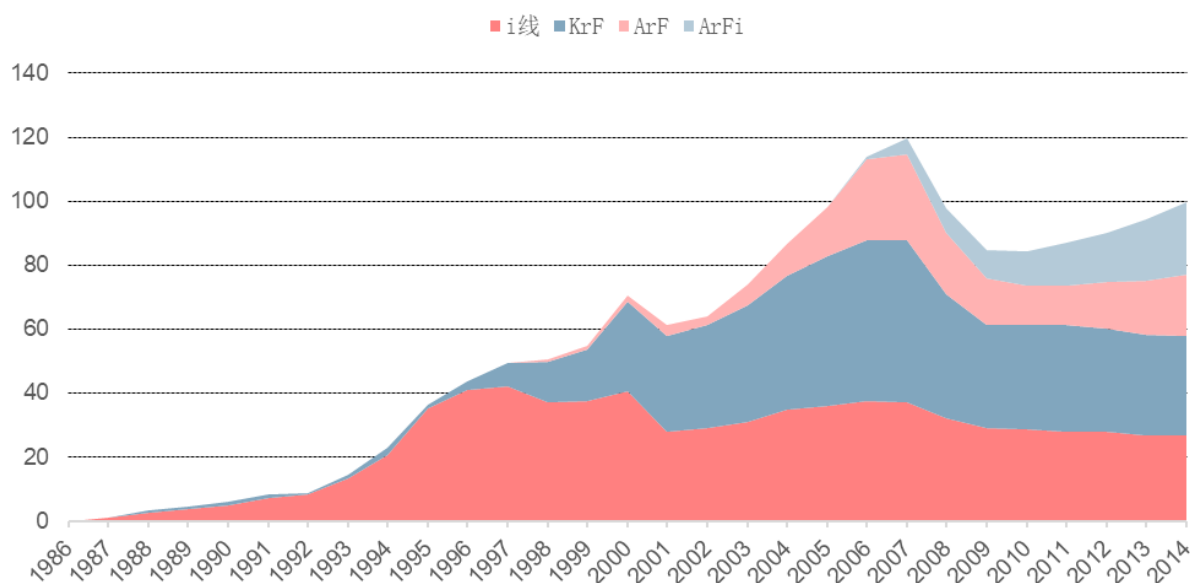
表 8：1980-1990s Intel 和 TSMC 的工艺节点时间表

	Intel	TSMC
1982	1.5 μm	
1987	1.0 μm	3 μm
1988		1.5 μm
1989	0.8 μm	1.2 μm
1990		1.0 μm
1991	0.6 μm	
1992		0.8 μm
1993	0.5 μm	0.6 μm
1994		0.5 μm
1995	0.35 μm	
1996		0.35 μm
1997	0.25 μm	0.25 μm

资料来源：Intel、TSMC、中信建投证券研究发展部

图 25：全球 i 线以上半导体光刻胶销售额

单位：十亿日元



资料来源：Sumitomo chemical、中信建投证券研究发展部

地利：弯道超车，日本光刻机成功登顶

众所周知，光刻机与光刻胶需要搭配使用，那么光刻机与光刻胶在新产品开发、产品销售等方面均存在一定协同效应。而 1980s 恰好是光刻机行业格局剧变的时代。**1980s 初期**，全球光刻机市场的大半壁江山还掌握在美国三巨头 Perkin-Elmer、GCA(Geophysical Corporation of America)、Ultratech 手中。**1986 年**半导体市场大滑坡使美国光刻机三巨头遭受重创，新产品研发停滞。以 GCA 为例，其在 1985-1986 年的两年时间内亏损 1 亿美元，从而被迫降薪 70%，裁员至 1000 人。1988 年 GCA 资金严重匮乏被 General Signal 以 7600 万美元收购。

日本光刻机企业尼康、佳能同时从 1976 年开始分别复制美国光刻机龙头 Perkin-Elmer、GCA 的产品，并在 1978-1980 年陆续实现销售。两者在步进式光刻机的研发中奋起直追，分别在 1982、1984 年实现了步进式光刻机的销售。由于性能优异（主要因为光源强度高，使其每小时晶圆加工量具备优势），尼康在步进式光刻机的销量、销售额 1984 年就追平了 GCA 并在 1985 年实现反超。由于在 i 线光刻技术上的落后，日本厂商集中精力研发下一代 KrF 光刻机试图弯道超车，并最终在 1988 年实现了 KrF 步进式光刻机的销售，此时美国龙头厂商还在 1986 年大滑坡的重创中无法自拔。

80 年代末，美国三巨头几乎完全被尼康、佳能所取代。在 KrF 光刻机上的领先理所当然的使日本企业的 KrF 光刻胶具备优势。

表 9：1980-1990s 光刻机行业格局变动

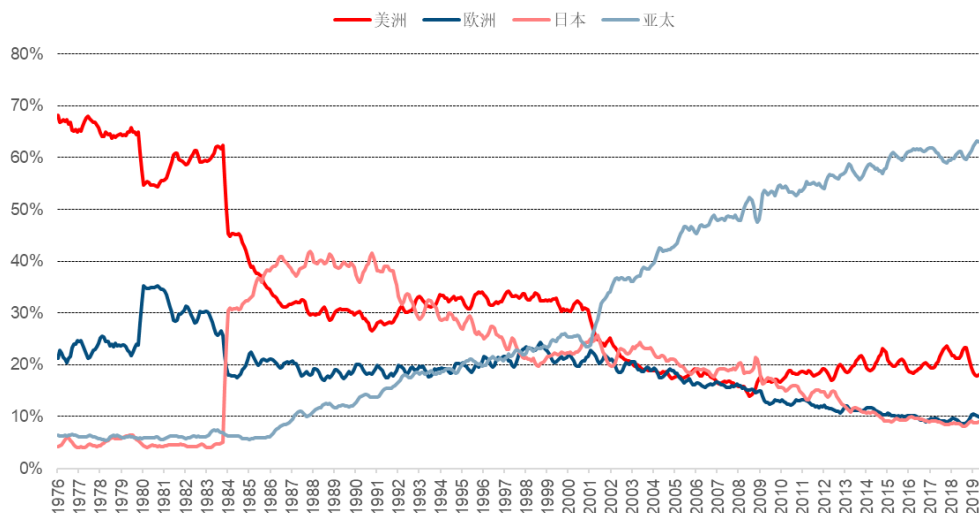
	Perkin-Elmer/SVG	GCA	Ultratech	尼康	佳能
1976				开始复制 GCA 的步进重复式光刻机	开始复制 Perkin-Elmer 的 Micralign 系列光刻机
1978		开发首台步进式光刻机 DSW 4800		成功复制 GCA 的步进重复式光刻机	
1980			被 General Signal 收购	首台商业化步进式光刻机	销售首台光刻机
1981	发布 Micralign 500：售价 67.5 万美元，通量 100wafer/小时				
1982			对 Intel 销售 100 余台光刻机	对美出售首台步进式光刻机，客户 TI、IBM	对美出售首台光刻机，客户 AMD San Antonio
1984	收购 h 线光刻机公司 Censor			1. 步进式光刻机销量、销售额追平 GCA，其每小时晶圆加工量优于竞品 2. 销售首台 i 线步进式光刻机	销售首台 g 线步进式光刻机
1985		为贝尔实验室开发首台 DUV 步进式光刻机		步进式光刻机销量、销售额超越 GCA	
1985-1986		亏损 1 亿美元，降薪 70%，裁员至 1000 人			
1988		被 General Signal 以 7600 万美元收购		销售首台 KrF 步进式光刻机。	
1989	宣布将退出半导体设备市场，分拆电子束光刻事业部 Etec	SEMATECH 投资 6000-7500 万美元支持		收购 Perkin-Elmer 被美国否决	
1990	光刻业务被 SVG (Silicon Valley Group) 收购	GCA 研发 XLS DUV 步进式光刻机	GS 宣布拟合并 GCA 和 Ultratech，后宣布放弃		销售首台 i 线步进式光刻机

1990-1992	发布 Micrascan 系列步进扫描式光刻机		
	与佳能合作步进式光刻机的谈判被美国政府叫停		与 SVG 合作步进式光刻机的谈判被美国政府叫停
1993			
		发布全球首台基于透镜的步进扫描式光刻机	
1995			
	发布准分子激光光源 Micrascan III 光刻机		
1996			
			销售首台 12 寸晶圆 KrF 步进式光刻机
1997			
		研发首台 ArF 扫描式光刻机	销售首台 ArF 步进式光刻机
1999	发布 193nm 产品		
2001	被 ASML 收购		

资料来源: Lithoguru、中信建投证券研究发展部

全球半导体产业链自诞生至今共发生了 3 次较大规模的转移, 分别是 1960-1990s 由美国到日本的转移; 1980-2000s 由美日到韩国、中国台湾地区的转移; 以及 2010 年至今仍在进行的从全球至中国大陆的转移。

图 26: 全球半导体销售额分地区占比



资料来源: wind、美国半导体产业协会、中信建投证券研究发展部

第一次转移: 美国→日本

虽然从销售额来看, 日本半导体产业销售额占全球比重从 1980s 才开始迎来爆发, 但半导体产业链从美国到日本的转移实际上早在 1950s 年代就已经开始。上世纪 50 年代, 受朝鲜战争影响, 美国开始逐步扶持日本并主动向日本转移技术, 将劳动密集型的半导体装配产业以及部分资本密集型的 IC 制造产业转移至日本, 而日本

则从装配开始逐步学习美国的半导体技术，并将其与家电产业相结合，借家电产业的蓬勃发展带动半导体产业发展壮大。凭借在家电领域的技术和资本积累，日本逐步在 DRAM 领域实现了对美国追赶和反超，在全球半导体市场中的份额也在 1985 年实现了对美国的反超。

从日本对光刻胶的突破时间来看，1968 年东京应化首次实现了环化橡胶体系光刻胶的商业化，与美国柯达相比落后了 11 年。从半导体产业链转移的时间关系来看，日本对光刻胶产业的突破发生在半导体产业链由美国向日本转移的 10 余年后。

第二次转移：美日→韩台

1980-2000 期间，全球半导体产业经历了从美日到韩台的转移，其中存储芯片由日本向韩国的转移主要源于：

①**日美贸易争端**。美国从 1960 年代开始以各种理由不断向日本挑起贸易争端，一直持续到 1990 年代。一方面大幅压制了日本经济的增长，使日本无力支撑半导体技术迭代的巨大资本开支，另一方面对半导体领域的直接制裁，如价格 and 市场份额方面的管制也直接削弱了日本半导体产业的竞争力。②**技术层面**，DRAM 领域的巨大成功叠加日本一贯的工匠精神，使日本持续进行大型机 DRAM 领域的深度开发，忽略了 PC、移动电话等消费电子领域产品的开发。③**韩国经济的迅猛发展及政府政策上的大力支持**。晶圆代工领域从美国向台湾地区的转移主要由于全球晶圆代工由 IDM 模式向 Fabless 模式转变的大潮下台积电的崛起。

表 10：日美之间行业层面的 6 大贸易冲突

行业	时间	美国采取的主要贸易保护措施	日本的应对措施	达成的主要协定
纺织品	1957-1972	<ul style="list-style-type: none"> ● 多边与双边贸易谈判 ● Mills 配额法案，即 1970/1971 年通商法 ● 1956 年农业调整法 204 条 ● 对敌国贸易法第 232 条协定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 要求以多边，GATT 框架内方式解决纺织品问题 ● 自愿出口限制 ● 轻工业向重工业转型，将纺织工业转移至中国和东南亚 	<ul style="list-style-type: none"> ● 日美纺织品协议（1957） ● 日美棉纺织品短期协定（1962） ● 日美棉纺织品长期协定（1963） ● 日美纺织品贸易协定（1972）
钢铁	1968-1978	<ul style="list-style-type: none"> ● 要求日本自愿限制出口 ● 反倾销调查与起诉 ● 301 条款 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自愿限制出口 	<ul style="list-style-type: none"> ● 日美钢铁产品协定（1968） ● 日本自愿限制出口（1974） ● 美日特殊钢进口配额限制协定（1976） ● 美国设立钢铁起价制度（1978）
家电	1970-1980	<ul style="list-style-type: none"> ● 美国国际贸易委员会作出不利日本的裁定 ● 反倾销反补贴调查 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自愿限制出口 ● 政府鼓励厂家海外投资 	
汽车	1979-1987	<ul style="list-style-type: none"> ● 1980 卡博行业汽车救济政策 ● 要求自愿限制出口 ● 要求日本开放市场 	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本汽车厂家到美国投资建厂 ● 自愿限制出口 ● 开放国内市场 	<ul style="list-style-type: none"> ● 日美汽车及零部件协议（1981）
电信	1980-1985	<ul style="list-style-type: none"> ● 301 条款 ● 里根特使 ● 系统性全行业的市场开放等 	<ul style="list-style-type: none"> ● 移除贸易壁垒 ● 系统性全行业的市场开放 	
半导体	1987-1991	<ul style="list-style-type: none"> ● 301 条款 ● 反倾销调查与起诉 ● 禁止日本企业在美投资与并购 ● 贸易制裁性关税 	<ul style="list-style-type: none"> ● 第三国出口价格管制 ● 对美出口产品价格控制 ● 要求外国半导体产品在日本市场份额超过 20% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 日美半导体协议（1987）

资料来源：国务院发展研究中心、中信建投证券研究发展部

从日美贸易战及半导体行业从日本转出的时间轴来看，日美半导体协议签订时，日本刚刚实现了对 i 线光刻胶的突破，彼时 IBM 早已突破 KrF 光刻胶，但美国光刻机厂商却深陷泥潭，签署次年的 1988 年，尼康即实现了 KrF 光刻机的商业化。

最终，在光刻机领域成功实现弯道超车后，东京应化也在 1995 年实现了 KrF 光刻胶的商业化，恰逢半导体工艺制程节点逐步触碰 i 线光刻的极限，天时地利下，日本光刻胶成功崛起。

人和：全球化浪潮下，日本半导体工业留存的硕果

实际上从半导体产业链的第二次转移开始，日本的半导体产业就已经呈现持续流出的态势。与此同时，日本光刻机产业辉煌，只持续了 10 余年时间。2000 年，荷兰 ASML 推出了 TWINSCAN 平台，显著提升了光刻机的晶圆处理效率，并于 2001 年在台积电实现首次装机，同年 ASML 实现了对 SVGL 的收购。2002 年，ASML 超越尼康坐上了光刻机市场的头把交椅。

2002 年台积电的林本坚博士在一次研讨会上提出了沉浸式 ArF 光刻方案，随后 ASML 在一年时间内就开发出了样机，并在 2003 年获得了 IBM 和 TSMC 的订单。而尼康仍然致力于 157nm 光刻机的研发，直至 Intel 宣布从路线图中剔除 157nm 光刻，才重新对 157nm 光刻进行评估，错过了沉浸式 ArF 光刻的先机。尼康直至 2005 年才实现了沉浸式 ArF 光刻机的销售，而此时高端光刻机市场基本已被 ASML 占领，至 2009 年，ASML 在光刻机市场中的份额已经达到近 70%，而日本光刻机产业在经历仅仅 10 余年的辉煌后最终走向了衰败。

表 11：1980-1990s 光刻机行业格局变动

	尼康	佳能	ASML
1995	发布全球首台基于透镜的步进扫描式光刻机		
1997		销售首台 12 寸晶圆 KrF 步进式光刻机	销售首台步进扫描式 KrF 光刻机，每小时晶圆处理量高于竞品
1998			销售首台 ArF 步进扫描式光刻机
1999	研发首台 ArF 扫描式光刻机	销售首台 ArF 步进式光刻机	
2000			推出 TWINSCAN 平台，进一步提升晶圆处理量
2001			1. 首台 TWINSCAN 平台在台积电装机 2. 收购 SVGL
2002			超越尼康成为光刻机龙头
2003	因 Intel 宣布从路线图中剔除 157nm 光刻，尼康重新评估 157nm 光刻技术		1. 向 IMEC 销售首台 157nm 产品，为前 SVGL 产品 2. 宣布 ArF 沉浸式光刻系统，获得 IBM 和 TSMC 订单
2004	研发首台 ArF 沉浸式光刻机		
2005	ArF 沉浸式光刻机实现销售		
2009			市占率接近 70%

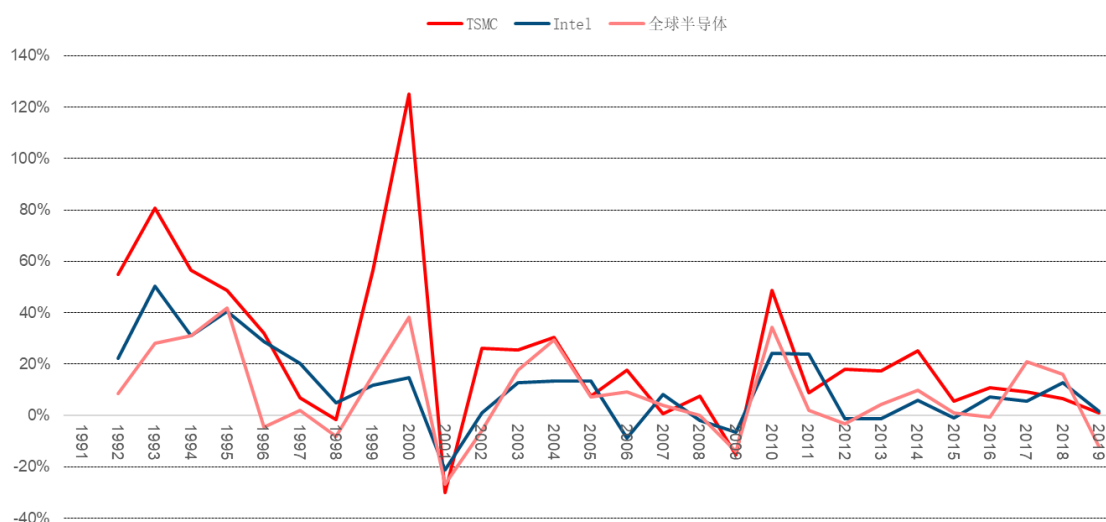
资料来源：Lithoguru、中信建投证券研究发展部

日本半导体工业在先后失去了晶圆制造、光刻机两座引擎后，按照此前的经验，包括光刻胶在内的上游半

导体材料也将逐步从日本向外转移，日本光刻胶行业的辉煌也将就此结束，然而事实并非如此：日本光刻胶在上世纪 90 年代崛起后，时至今日仍然稳居行业头把交椅，且以 90% 以上的市占率垄断着全球的高端光刻胶市场。我们认为这与以 IDM 模式向 Fabless-Foundry 模式转变为代表的，半导体产业链的全球化分工趋势相关。

从上世纪 90 年代有统计数据以来，以台积电为代表的 Foundry 销售增速就持续高于行业总量以及以 Intel 为代表的 IDM 厂商。全球化的分工也意味着先进制程的开发不再是一家厂商的努力，而是包括 Foundry、光刻机以及半导体材料厂商在内，全球半导体产业链的通力合作。半导体产业链全球化分工的趋势下，晶圆制造、设备等领域已经出现大幅流出的日本，得以保留包括光刻胶在内的上游半导体材料产业，时至今日仍然占据全球绝对龙头的位置。

图 27：全球半导体及 TSMC、Intel 销售增速



资料来源：wind、美国半导体产业协会、中信建投证券研究发展部

机遇与挑战并存

总结日本光刻胶、半导体材料乃至整个半导体工业的发展史可以发现，日本半导体行业的崛起，主要源于：①50-60 年代美国将劳动密集型的半导体装配及部分 IC 制造主动转移至日本；②日本家电产业的繁荣带动上游半导体产业的崛起；③1986 年半导体行业的大衰退使美国光刻机厂商遭受重创，提前布局下一代技术的日本厂商顺势实现了弯道超车；④半导体销售额、光刻机纷纷位居全球第一的日本，水到渠成地将包括光刻胶在内的半导体材料发展起来。

经历了短暂的繁荣后，一方面日本 IC 制造开始向外转移，另一方面在光刻机技术路线上的错误选择也使尼康在第一把交椅上仅仅坐了 10 余年便被 ASML 无情击败。然而失去了本土下游市场和光刻机配套后，日本光刻胶厂商非但没有衰退，反倒乘着半导体产业链的全球化分工浪潮牢牢占据了高端市场的全球垄断地位，直至今日。

以日为鉴，当前我国光刻胶机遇与挑战并存：

机遇：①近年来的中美贸易摩擦、日韩贸易摩擦及新冠肺炎疫情使半导体产业链的全球化分工遭遇了前所

未有的挑战，行业对供应链安全性的关注度大幅提升，这一方面有利于我国包括光刻胶在内的半导体材料厂商在国内晶圆厂的放量验证，另一方面中国大陆以外的顶尖晶圆厂出于供应链安全的角度也会给予新兴材料厂商验证机会，培育位于不同国家的二供或三供；②半导体及上游材料、设备国产化的大趋势下，光刻胶作为技术门槛最高的半导体材料，获得技术、政策上的支持也是合乎逻辑的。

挑战：①当前我国仅北京科华实现了 KrF 光刻胶的量产，而 IBM 早在 1980s 就已攻克此技术，我国技术水平落后近 40 年；②我国不论在光刻胶下游的 IC 制造还是与其搭配的光刻机方面，均与全球顶尖水平存在差距；③我国光刻胶当前仍处于追赶阶段，需要等待技术迭代中实现弯道超车的契机，而半导体行业在历史上已经发生过数次技术路线选择错误导致龙头厂商衰落的情况下，现有龙头厂商对下一代技术往往极为重视，布局非常全面，以金属氧化物光刻胶为例，龙头厂商 Inpria 获得了三星创投、JSR、Intel Capital、SK 海力士、台积电、液空、东京应化等半导体及材料龙头厂商的投资，这种情况下，国内半导体厂商想再次通过技术路线的选择，实现对传统龙头的降维打击，可谓难上加难。

综合来看，我们认为国内光刻胶企业目前最优的发展路径，是乘着半导体产业链国产化的大趋势，与国内晶圆厂开展紧密合作，逐步追赶和突破与国内 IC 制造工艺相匹配的光刻胶，绕开海外专利实现批量供应，为企业带来稳定的现金流，同时提前布局国内晶圆厂的下一代工艺，形成半导体工业正常的技术迭代节奏。

风险分析

市场竞争风险、技术替代风险、安全生产风险、专利侵权风险、核心技术泄密及核心技术人员流失的风险

分析师介绍

郑勇：北京大学地质专业硕士、经济学双学位，基础化工行业研究员，2 年石油行业工作经验，2 年基础化工研究经验。2017 年新财富基础化工入围团队成员、2017 年首届中国证券分析师金翼奖第一名团队成员、万得金牌分析师第二名团队成员。

研究助理 胡世超：北京大学化学博士，曾获国家奖学金、校长奖学金等，在《Chemical Science》等一区期刊发表多篇论文；2018 年 7 月加入中信建投化工组。

研究服务

北京保险组

张博 010-85130905 zhangbo@csc.com.cn

郭洁 010-85130212 guojie@csc.com.cn

张永胜 zhangyongsheng@csc.com.cn

张勇 010-86451312 zhangyongzgs@csc.com.cn

高思雨 010-8513 gaosiyu@csc.com.cn

刘京昭 - liujingzhao@csc.com.cn

北京公募组

李祉瑶 010-85130464 lizhiyao@csc.com.cn

黄杉 010-85156350 huangshan@csc.com.cn

李星星 021-68821600 lixingxing@csc.com.cn

杨济谦 010-86451442 yangjiqian@csc.com.cn

金婷 jinting@csc.com.cn

夏一然 xiayiran@csc.com.cn

杨洁 010-86451428 yangjiezs@csc.com.cn

社保组

吴桑 010-85159204 wusang@csc.com.cn

张宇 010-86451497 zhangyuyf@csc.com.cn

创新业务组

高雪 010-86451347 gaoxue@csc.com.cn

杨曦 -85130968 yangxi@csc.com.cn

廖成涛 0755-22663051 liaochengtao@csc.com.cn

黄谦 010-86451493 huangqian@csc.com.cn

陈基辕 010-65608433 chenjiyuan@csc.com.cn

诺敏 010-85130616 nuomin@csc.com.cn

上海公募组

黄方禅 021-68821615 huangfangchan@csc.com.cn

戴悦放 021-68821617 daiyuefang@csc.com.cn

翁起帆 021-68821600 wengqifan@csc.com.cn

范亚楠 021-68821600 fanyanan@csc.com.cn

薛姣 021-68821600 xuejiao@csc.com.cn

章政 zhangzheng@csc.com.cn

李绮绮 021-68821867 liqiqi@csc.com.cn

王定润 021-68801600 wangdingrun@csc.com.cn

深广公募组

曹莹 0755-82521369 caoyingzgs@csc.com.cn

张苗苗 020-38381071 zhangmiaomiao@csc.com.cn

XU SHUFENG 0755-23953843

xushufeng@csc.com.cn

程一天 0755-82521369 chengyitian@csc.com.cn

陈培楷 020-38381989 chenpeikai@csc.com.cn

评级说明

以上证指数或者深证综指的涨跌幅为基准。

买入：未来 6 个月内相对超出市场表现 15% 以上；

增持：未来 6 个月内相对超出市场表现 5—15%；

中性：未来 6 个月内相对市场表现在-5—5%之间；

减持：未来 6 个月内相对弱于市场表现 5—15%；

卖出：未来 6 个月内相对弱于市场表现 15% 以上。

重要声明

本报告仅供本公司的客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证本报告所包含的信息或建议在本报告发出后不会发生任何变更，且本报告中的资料、意见和预测均仅反映本报告发布时的资料、意见和预测，可能在随后会作出调整。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不构成投资者在投资、法律、会计或税务等方面的最终操作建议。本公司不就报告中的内容对投资者作出的最终操作建议做任何担保，没有任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺。投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，据本报告做出的任何决策与本公司和本报告作者无关。

在法律允许的情况下，本公司及其关联机构可能会持有本报告提到的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或类似的金融服务。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布本报告。任何机构和个人如引用、刊发本报告，须同时注明出处为中信建投证券研究发展部，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和/或修改。

本公司具备证券投资咨询业务资格，且本文作者为在中国证券业协会登记注册的证券分析师，以勤勉尽责的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰地反映了作者的研究观点。本文作者不曾也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

股市有风险，入市需谨慎。

中信建投证券研究发展部

北京

东城区朝内大街 2 号凯恒中心 B
座 12 层（邮编：100010）
电话：(8610) 8513-0588
传真：(8610) 6560-8446

上海

浦东新区浦东南路 528 号上海证券大
厦北塔 22 楼 2201 室（邮编：200120）
电话：(8621) 6882-1612
传真：(8621) 6882-1622

深圳

福田区益田路 6003 号荣超商务中心
B 座 22 层（邮编：518035）
电话：(0755) 8252-1369
传真：(0755) 2395-3859

有点报告社群

分享8万+行业报告/案例、7000+工具/模版；
精选各行业前沿数据、经典案例、职场干货等。



截屏本页，微信扫一扫或搜索公众号“有点报告”
回复<进群> 即刻加入