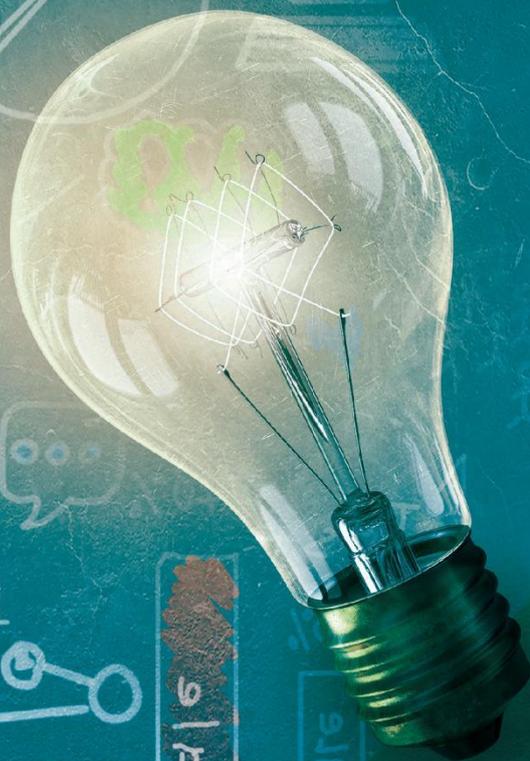


上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)



2023 年

专利与创新

PATENT AND INNOVATION

第 18 期

电子束光刻专利技术态势

编者按

电子束光刻(EBL, E-Beam Lithography)利用波长极短的聚焦电子直接作用于对电子敏感的光刻胶(抗蚀剂)表面绘制形成与设计图形相符的微纳结构,是无掩膜光刻的一种。电子束光刻系统有着超高分辨率和灵活作图的优点,但因其曝光效率低,控制复杂,致使电子束光刻更多应用于制作光刻掩模板、先进的原理样机和纳米级的科学研究及开发。

近年来,在技术研发方面,美国公司 Zyvex 使用电子束光刻制造出 0.7nm 芯片,弗劳恩霍夫研究所生产出直径近 30 厘米的超表面,湖南大学开发对电子束辐照敏感的环保型光刻胶材料,苏州大学等校合作实现全水环境下无刻蚀的电子束曝光技术。在专利申请方面,捷欧路公开载物台装置及电子束光刻系统专利,台积电公开提高电子束光刻产量工艺专利,中科院公开改善电子束光刻邻近效应的掩模版及其制备方法专利,上海交通大学用于电子束光刻的通用对准标记及其制备方法获专利授权,华中科技大学公开低损耗薄膜铌酸锂光波导制备方法专利。笔者梳理近期国内外在电子束光刻领域取得的基础研究和专利成果,供读者参考。

目 录

电子束光刻技术概述	4
电子束光刻技术发展进程.....	4
电子束光刻基础研究态势.....	6
电子束光刻专利申请态势.....	10
电子束光刻专利动态	15
捷欧路公开载物台装置及电子束光刻系统专利	15
台积电公开提高电子束光刻产量工艺专利.....	15
中科院公开改善电子束光刻邻近效应的掩模版专利.....	16
上海交通大学用于电子束光刻的通用对准标记获专利授权	17
华中科技大学公开低损耗薄膜铌酸锂光波导制备方法专利	18
电子束光刻技术动态	19
美国公司 Zyvex 使用电子束光刻制造出 0.7nm 芯片	19
弗劳恩霍夫研究所生产直径近 30 厘米的超表面	20
湖南大学开发对电子束辐照敏感的环保型光刻胶材料.....	21
苏州大学等校实现全水环境下无刻蚀的电子束曝光技术.....	22

电子束光刻技术概述

电子束光刻技术发展进程

电子束光刻设备在高精度掩模制备、原型器件开发、小批量生产以及基础研究中有着不可替代的作用。在国外高端电子束光刻设备禁运的条件下，中国迫切需要实现高端国产化设备的突破。

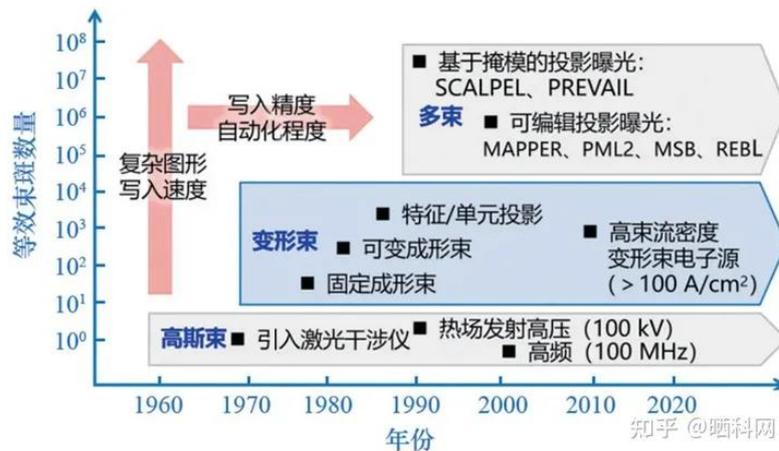


图1 电子束光刻发展历程

目前，活跃在科研和产业界的电子束光刻设备主要是高斯束、变形束和多束电子束，其中高斯束设备相对门槛较低，能够灵活曝光任意图形，被广泛应用于基础科学研究中，而后两者则主要服务于工业界的掩模制备中。

1、国外电子束光刻设备发展现状

(1) 高斯束电子束光刻设备

设备型号	德国 Raith EBPG-5200PLUS	日本 JEOL JBX-9500FS	日本 Elionix ELS-BODENS	日本 Crestec CABL-UH	英国 NanoBeam nB5
实物图片					
加速电压/kV	20/50/100	50/100	50/100/125/150	25-130, 5 kV 步长	20-100
最小束斑直径/nm	≤ 3 (100 kV)	≤ 4 (100 kV)	1.5 (150 kV)	1.6 (130 kV)	2.3 (100 kV)
扫描速度/MHz	125	100	400	—	55
样品极限尺寸	8 in 晶圆, 7 in 掩膜板	12 in 晶圆, 6 in 掩膜板	8 或 12 in 晶圆	8 in 晶圆	8 in 晶圆
最小线宽/nm	≤ 8	—	≤ 4	< 7	< 8
拼接精度/nm	< 8	$\leq \pm 10$	—	—	< 25
套刻精度/nm	≤ 5	$\leq \pm 11$	—	—	—
最大场尺寸	$512 \mu\text{m} \times 512 \mu\text{m}$	$1000 \mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$	$3000 \mu\text{m} \times 3000 \mu\text{m}$	$1000 \mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$	$1000 \mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$

图2 目前主流高斯束电子束光刻设备参数

高斯束电子束光刻设备是最早的电子束光刻设备种类，已经发展多年，相

应技术趋向稳定，相关零部件和技术研发机构已由设备厂商全面承担。

近几年来各代表性公司均无突出的产品更新，在经过多代产品迭代后，均向大面积、高电压、小束斑、高精度、智能化方向发展。

(2) 变形束电子束光刻设备

在掩模加工厂商所使用的变形束设备中，Nuflare 公司的设备占据了市场份额的 90%以上。其产品 EBM-9500PLUS 是唯一一个具备 7/5nm 掩模制备能力的变形束设备，束流密度远超同类产品，可实现半周期 30nm 以下结构的精准曝光，满足掩模制备过程中复杂图形的快速高精度制备。

设备型号	日本 JEOL JBX-3200MV	日本 Nuflare EBM-9500PLUS	日本 Advantest F7000	德国 Vistec SB3050
实物图片				
对应掩模节点/nm	28~22/20	7+5	10~20	32
加速电压/kV	50	50	—	50
束流密度/(A·cm ⁻²)	70	1200	—	20
拼接精度/nm	≤±3.5	—	—	—
套刻精度/nm	≤±5	1.8	—	—

图 3 目前主流变形束电子束光刻设备参数

(3) 多束电子束光刻设备

多束电子束光刻系统是目前电子束光刻设备中最新的研究成果。在过去的 20 多年里，多束电子束光刻技术经历了概念、零部件、原型机、商用设备的研发过程，最终在 7nm 节点开始进入掩模制备市场。

设备型号	荷兰 MAPPER FL1200	日本 Nuflare MBM 2000	奥地利 IMS MBMW-101(2016)
实物图片			
对应节点/nm	28(wafer)	3(mask)	7(mask)
加速电压/kV	5	50	50
束流/μA	1.7	1.6	1.0
束流密度/(A·cm ⁻²)	—	2.5	1.0
电子束数量	65000	512×512	512×512
束斑直径/nm	25	10	20
直写速度	1片/h(12 in)	<12 h/掩模(100×130 mm)	10 h/掩模(100×130 mm)
最小分辨率/nm	18	—	14
电子束点阵尺寸	26 mm×26 mm	~80 μm×80 μm	82 μm×82 μm
拼接误差/nm	15	—	—
套刻误差/nm	25	—	—

注：IMS最新商用多束型号为 MBMW-201、MBMW-301 在研，但其设备资料不公开，因此选取公开参数较多的 MBMW-101。

图 4 目前主流多束电子束光刻设备参数

2、国内电子束光刻设备研究进程与现状

国内关于电子束光刻设备的研发主要集中在 20 世纪 70 年代到 21 世纪初，曾一度搁置，在《瓦森纳协定》后电子束光刻设备研发才重新被提起。在此之前，国内从事和引导电子束光刻设备研究的单位主要有中国科学院电工研究所、中国电子科技集团有限公司第四十八研究所、哈尔滨工业大学和山东大学等。

其中，目前性能最优的国产化电子束光刻设备包括 DB-8 型号电子束曝光设备、DY-70.1 μm 电子束曝光系统，均为高斯束类型。在变形束方面主要有 DJ-2 μm 级可变矩形电子束曝光机，而在多束方面在过去并无相关研究，仅有电工所开展了多束的前身技术——投影电子束曝光的研究，设备代号为 EPLDI。

国内研发设备的加速电压停留在 30kV 以下，扫描速度普遍不超过 10MHz，相应的拼接套刻精度均在亚微米量级，而电子束束斑在整机自主化研发设备的整体性能与国外顶尖设备有较大差距。

我国扫描电镜国产化进程迅速，目前国内已有多家企业提供自主研发的电镜。已有国产化电镜设备中储备了电子束光刻设备相当一部分的核心技术，可从供应链或者具有自主知识产权的关键零部件设计和技术方面为电子束光刻设备研发提供支持。

资料来源：晒科网 2022-07-01 新闻

电子束光刻基础研究态势

笔者在 The Lens 全球专利和学术数据库中使用检索式(title:(“E-Beam lithography” OR “Electron beam lithography”) OR abstract:(“E-Beam lithography” OR “Electron beam lithography”)), 检索时间为 2023 年 8 月 28 日。

1、技术研发趋势

国外电子束光刻 (EBL) 基础研究发展经历了萌芽期 (2003 之前)、成长期 (2004-2006)、成熟期 (2007-2011)、衰退期 (2012 至今)。国内 EBL 基础研究发展在 2004 之前较为缓慢，处于萌芽期。2005-2010，国内 EBL 基础研究

进入快速增长的成长期，2011年后整体变化较平缓，但2017、2021、2022三年国内 EBL 基础研究成果较多。

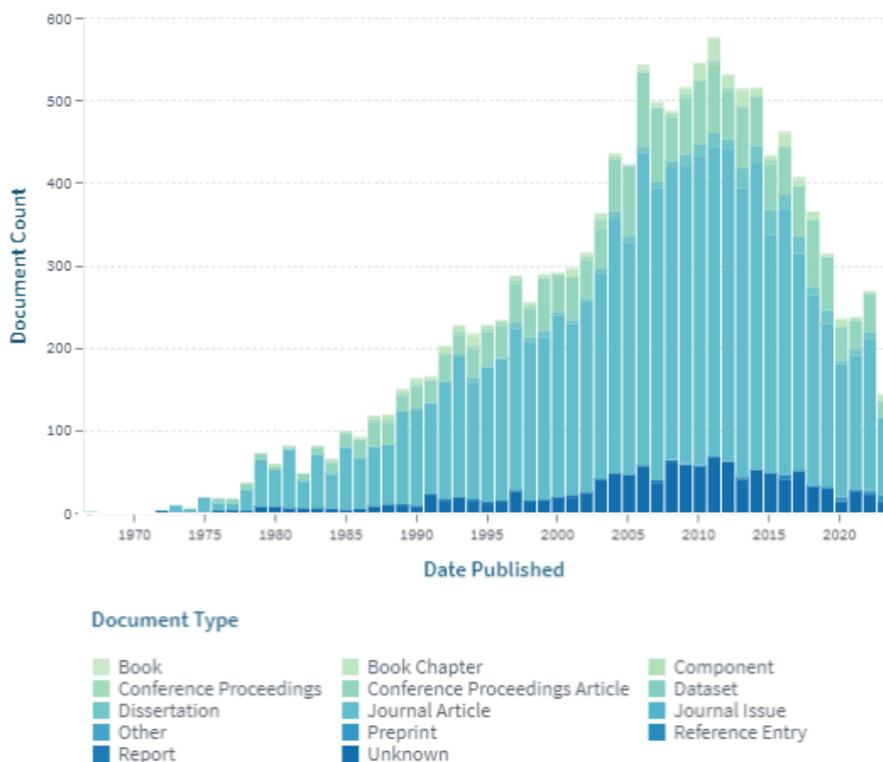


图1 国外 EBL 基础研究发表趋势

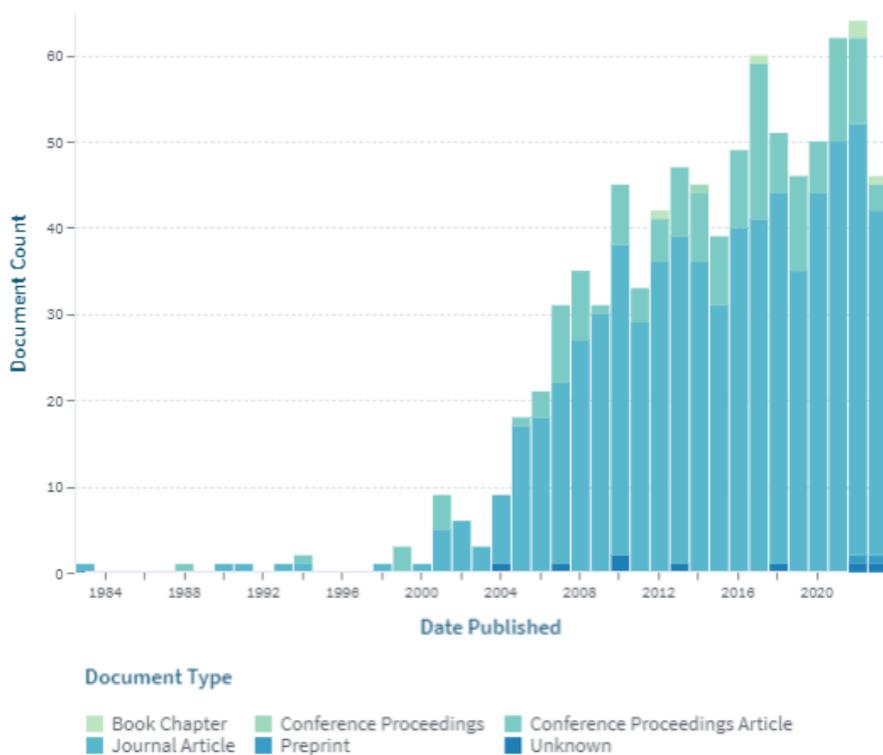


图2 国内 EBL 基础研究发表趋势

2、主要研究机构

国外 EBL 领域前十位的研究机构分别是：IBM、格拉斯哥大学、法国科学院、法国原子能和替代能源委员会、康奈尔大学、麻省理工学院、剑桥大学、日本东北大学、大阪大学、查尔姆斯理工大学，其中仅有 IBM 一家企业。国内 EBL 领域前十位的研究机构包括中国科学院和九所高校，且中科院研究成果数是复旦大学的近三倍。

顶级机构徽标网格				
				
Ibm 301	University of Gl... 228	Centre National... 198	French Alternati... 152	Cornell University 150
				
Massachusetts I... 145	University of Ca... 144	Tohoku University 138	Osaka University 119	Chalmers Unive... 119

图 3 国外 EBL 主要研究机构

顶级机构徽标网格				
				
Chinese Acade... 245	Fudan University 78	University of Sci... 42	Peking University 40	Zhejiang Univer... 39
				
Tsinghua Unive... 35	Nanjing Univers... 35	University of Ch... 33	Shanghai Jiao T... 27	Hunan University 25

图 4 国内 EBL 主要研究机构

3、热门研究领域

国外 EBL 热门研究领域有光电子学、光刻技术、光学、纳米技术、涂层、组装。国内 EBL 热门研究领域有光电子学、光刻技术、光学、组装、涂层。

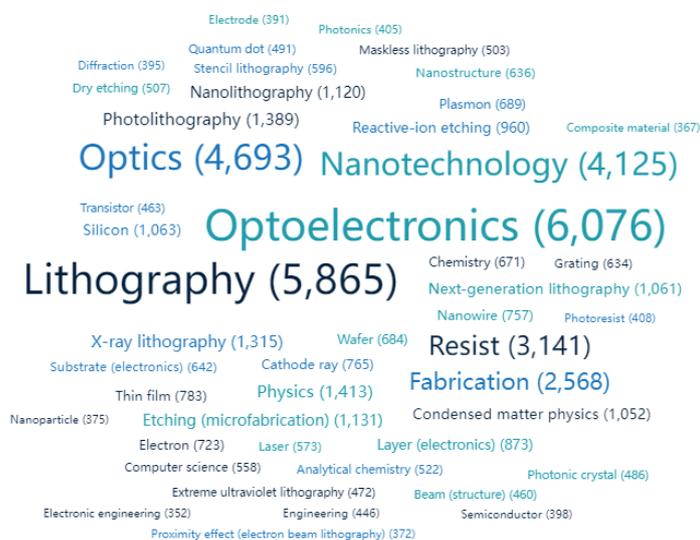


图 5 国外 EBL 热门研究领域

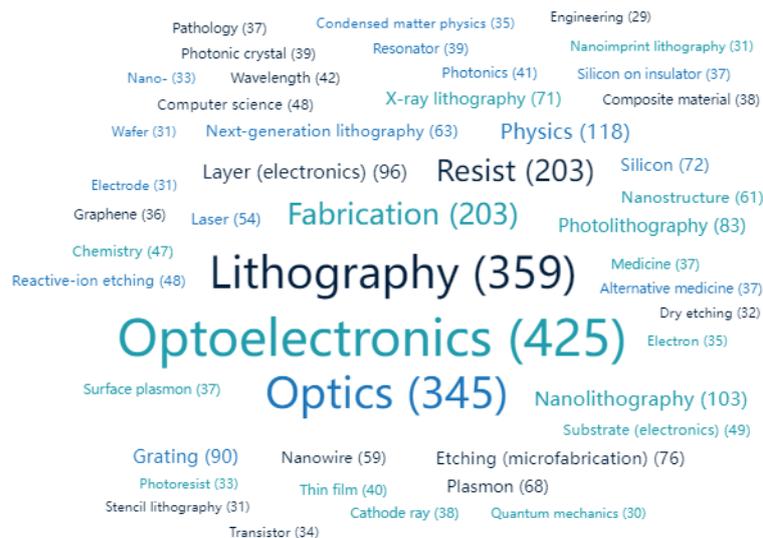


图 6 国内 EBL 热门研究领域

4、研究成果质量

在国外，IBM 研究成果的被引次数最高，远超于其它机构。在国内，中国科学院、复旦大学两所机构成果的被引次数位列前二，但中科院成果的被引次数仅是 IBM 的三分之一。

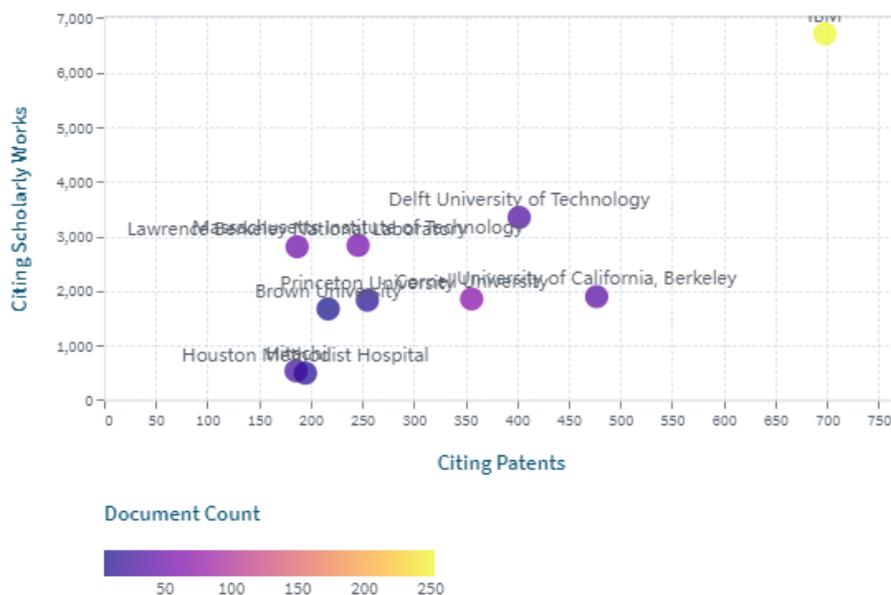


图7 国外 EBL 研究机构引文比较

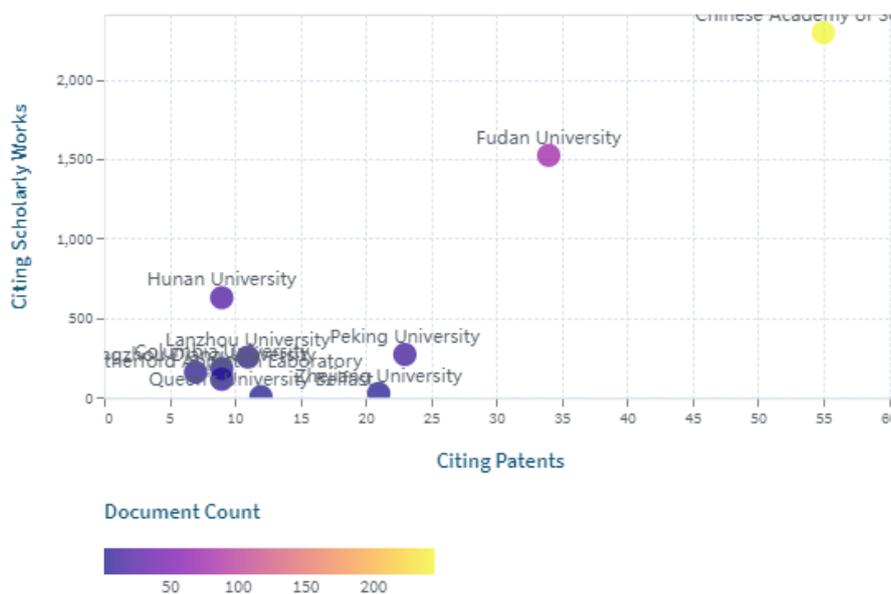


图8 国内 EBL 研究机构引文比较

资料来源：上海科学技术情报研究所检索分析 2023-08-29

电子束光刻专利申请态势

笔者在 The Lens 全球专利和学术数据库中使用检索式(title:(“E-Beam lithography” OR “Electron beam lithography”) OR abstract:(“E-Beam lithography” OR “Electron beam lithography”))进行检索，检索时间为

2023年8月28日。

1、专利申请趋势

国外电子束光刻（EBL）专利申请经历了萌芽期（1997 之前）、成长期（1998-2001）、成熟期（2002-2004）、衰退期（2005 至今）。国内 EBL 专利申请在 2005 之前数量较少，处于萌芽期，2005-2010 年国内 EBL 专利快速增加，进入成长期，2011 年至今，国内该领域专利申请数增速变缓，逐渐进入成熟期。

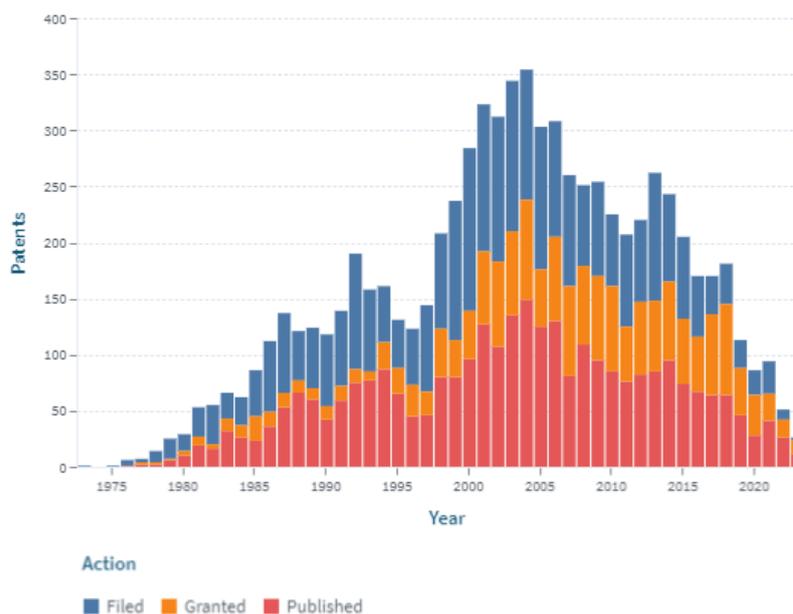


图1 国外 EBL 专利申请趋势

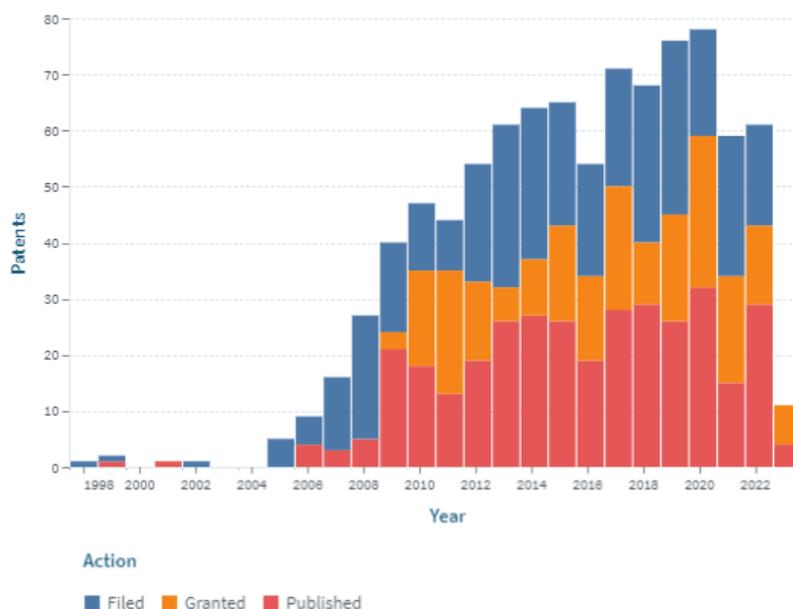


图2 国内 EBL 专利申请趋势

2、主要申请人

国外 EBL 领域前十位专利申请人均是企业，分别是：日立、IBM、东芝、英特尔、纽福来株式会社、台积电、富士通、爱德万公司、捷欧路公司、法国原子能委员会。国内 EBL 领域前十位专利申请人包括英特尔、IBM 两家国外企业和国内八所高校、院所，国内企业在 EBL 领域的专利申请较不活跃。

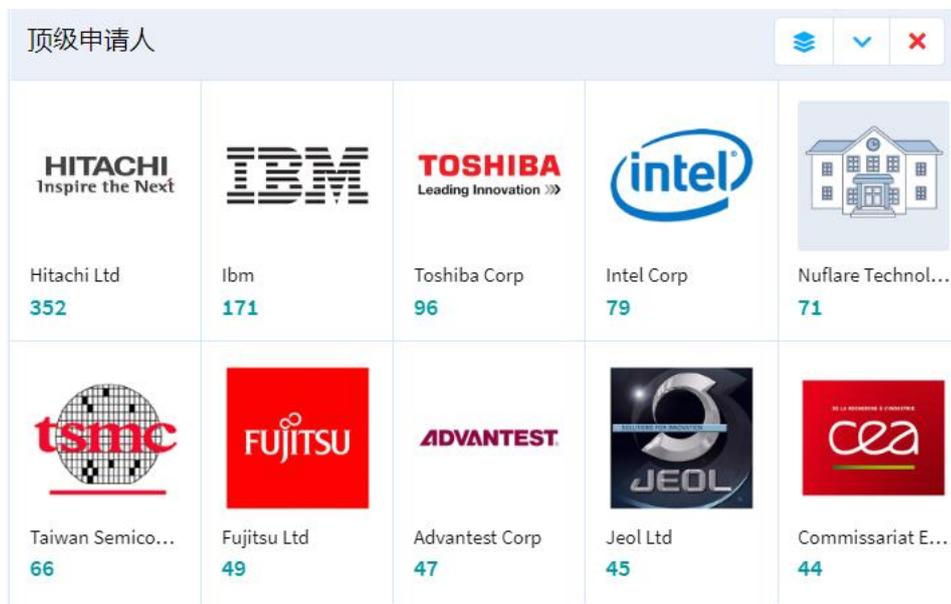


图 3 国外 EBL 主要专利申请人

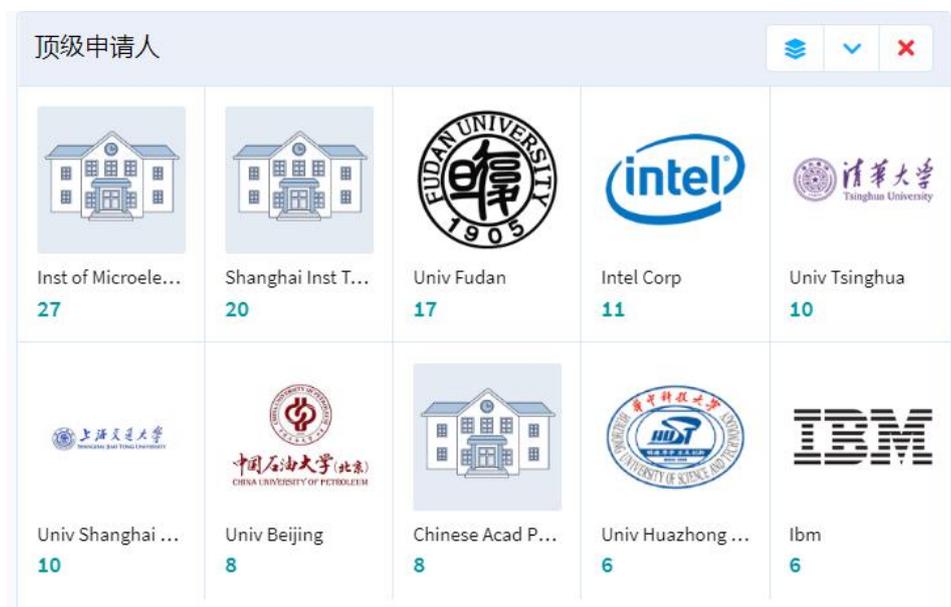


图 4 国内 EBL 主要专利申请人

3、专利热点技术

国外 EBL 专利热点技术有用于信息加工、存储或传输的纳米技术 (B82Y10/00)、粒子束光刻 (H01J37/3174)、纳米结构的制造或处理 (B82Y40/00)、电

子束（Y10S430/143）。国内 EBL 专利热点技术有纳米结构的制造或处理（B82Y40/00）、粒子束光刻（H01J37/3174）、使用扫描微粒辐射束（G03F7/2059）。



图 5 国外 EBL 专利热点技术



图 6 国内 EBL 专利热点技术

4、专利质量

国外 EBL 专利质量较高，且最高被引专利出现于 2012 年。国内 EBL 专利质量较低，最高被引专利出现于 2010 年，且被引次数不到国外专利最高被引数的十分之一。

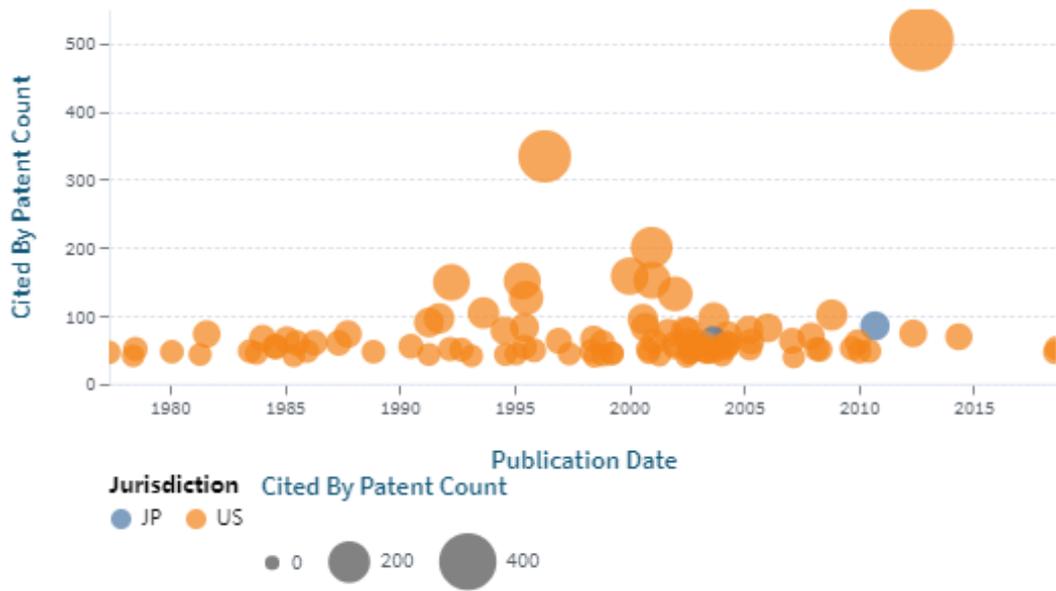


图7 国外 EBL 专利质量

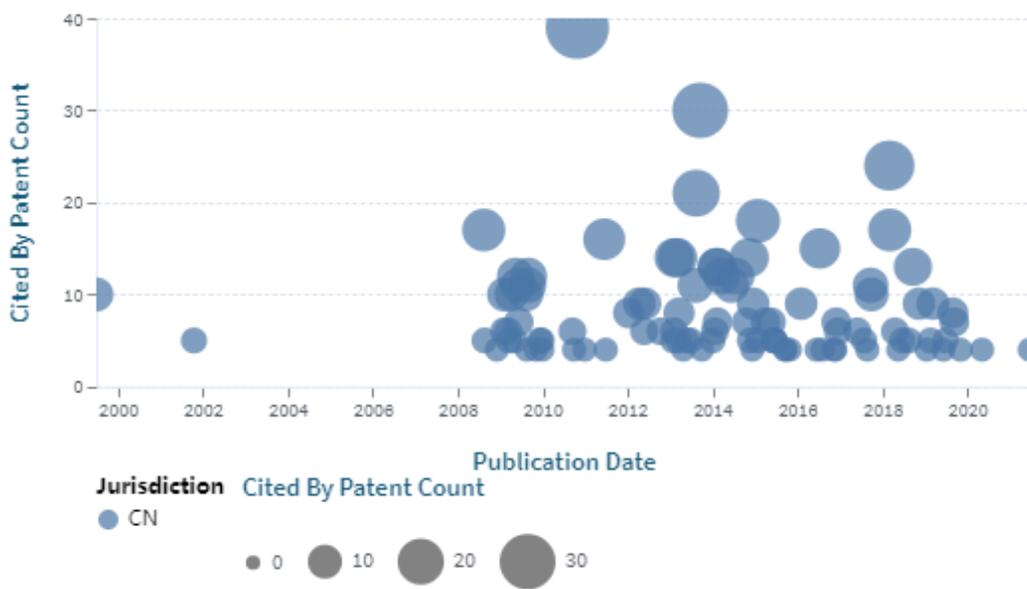


图8 国内 EBL 专利质量

资料来源：上海科学技术情报研究所检索分析 2023-08-29

电子束光刻专利动态

捷欧路公开载物台装置及电子束光刻系统专利

在制造光掩模的工艺步骤中，电子束光刻系统通过电子束在抗蚀剂膜上绘制图案。由于半导体器件制造对尺寸和精度的要求越来越高，电子束光刻系统需要具有更高的光刻精度。影响光刻精度的因素之一是支撑光掩模空白或其他衬底的载物台设备的精度。载物台装置具有表面板、固定支撑在表面板上的导向轴、以及沿其各自的导向轴移动的驱动构件。

在使用静液压空气轴承的载物台装置中，驱动构件通过形成空气膜而漂浮。因此，需要不断地将压缩空气输送到导向轴和驱动构件之间，形成较厚的气膜，从而避免导向轴和驱动构件接触。然而，当载物台被放置在真空环境中时，如果空气膜的厚度增加，则泄漏到真空中的空气的流速增加，这会破坏真空环境。然而，如果减小空气膜的厚度，则可能使导向轴和驱动构件相互接触，阻碍驱动构件的正常移动。

为了解决上述问题，捷欧路申请了一项名为“Stage Apparatus and Electron Beam Lithography System”的美国发明专利，该专利于2022年12月19日公开，公开号为US20220413396A1。

该发明提供了一种载物台设备，即使导向轴和驱动构件间空气膜的厚度没有增加，该载物台设备也能有效地抑制两者接触。此外，该发明设计了一种电子束光刻系统，该系统配有上述载物台设备，该系统可使用电子束在由上述载物台支撑的物质上绘制图案。

资料来源：壹专利 2022-12-19

台积电公开提高电子束光刻产量工艺专利

随着集成电路（IC）技术不断朝着更小的特征尺寸（如32纳米、28纳米、20纳米及以下）发展，集成电路（IC）设计变得更具挑战性。带电粒子束光刻，包括使用带电粒子束（例如，电子束）在没有十字线（或掩模）的工件上

书写 IC 图案，可以形成小于光分辨率的 IC 特征。吞吐量通常是指电子束光刻系统曝光整个工件（晶片）所需的时间，电子束光刻的实用性受到吞吐量的限制，特别是对于大规模制造。因此，尽管现有的带电粒子束光刻系统和带电粒子束光刻方法通常足以满足其预期目的，但它们并不能完全令人满意。

台积电使用通常被视为电子束光刻缺点的反向散射能量来提高吞吐量，并就此申请了一项名为“Dummy Insertion for Improving Throughput of Electron Beam Lithography”的美国发明专利，该专利于 2023 年 8 月 31 日公开，公开号为 US20230273524A1。

该发明中的电子束光刻技术增加了 IC 设计布局的图案密度，以增加反向散射能量，从而减少邻近效应校正所需的最大曝光剂量。减小邻近效应校正所需的最大曝光剂量减小了在电子束曝光期间实施的最大曝光剂量，从而使得扫描速度加快。

资料来源：壹专利 2023-08-31

中科院公开改善电子束光刻邻近效应的掩模版专利

随着半导体先进制程工艺逐渐步入 5nm 以下，对制备高分辨率光刻掩模版也提出了更高的要求，电子束光刻技术以其极高的分辨力并且能够实现纳米级曝光，在制备高分辨光刻掩模版的过程中发挥着举足轻重的作用。

但是，光学邻近效应是限制电子束光刻分辨率的一个重要因素，其主要原因是在电子束照射过程中，电子束会与掩模版的吸收层和衬底材料的元素原子核发生碰撞，形成背散射电子返回电子束光刻胶中，引起电子束光刻胶额外曝光，进而影响电子束光刻的分辨率。

电子束光刻的光学邻近效应虽然不可避免，但是可以采取相应的措施减弱或校正，目前常用的校正方式主要有软件修正以及工艺优化。其中，软件修正包括图形修正或者蒙特卡洛模拟技术修正；工艺优化则是在一次曝光基础上，对互补图形进行第二次低剂量曝光，通过两次叠加实现能量均匀分布。上述方法均需要耗费大量的时间和成本用于计算以及工艺优化。

中国科学院申请了一项名为“具有改善电子束光刻邻近效应功能的掩模版

及其制备方法”的发明专利，该专利于 2023 年 5 月 2 日公开，公开号为 CN116047856A。该公开提供一种具有改善电子束光刻邻近效应功能的掩模版及其制备方法，该掩模版通过选择由低原子序数材料构成掩模吸收层，降低了电子束入射过程中入射电子束与掩模吸收层中元素原子核碰撞的概率，从而减少了背散射电子返回电子束光刻胶层的概率，由此改善了电子束光刻过程中的光学邻近效应。

资料来源：壹专利 2023-05-02

上海交通大学用于电子束光刻的通用对准标记获专利授权

随着微纳米科技的发展及器件结构的不断缩减，纳米结构的加工应用越来越广泛，而电子束光刻技术能够实现几个纳米至百纳米尺寸的精确刻写，使其成为重要的纳米结构加工方法之一。

随着器件的复杂程度越来越高，需要两次及以上的电子束套刻来实现结构的加工，这就需要在基片材料上加工用于电子束套刻的对准标记。目前常用的对准标记为金的十字或者方块对准标记，利用电子束曝光技术刻写在基片材料上，再进行金属沉积和剥离的方法进行加工。这样的加工方法成本很高，而且这种标记采用的金层厚度往往还比较薄，进行过几次曝光套刻后就会被破坏，严重影响后面的使用。尤其与 CMOS 加工工艺结合后，硅基类的器件加工要求也越来越高，有些半导体的加工工艺中严禁使用金属材料，使得这类对准标记无法应用。

上海交通大学申请了一项名为“用于电子束光刻套刻的通用对准标记及其制造方法”的发明专利，申请号为 CN202110407727.1，该专利于 2022 年 6 月 28 日获得授权。

针对现有技术中的缺陷，该发明提供了一种用于电子束光刻套刻的通用对准标记及其制造方法，包括衬底层、绝缘层和芯层。其中，绝缘层位于衬底层上，芯层位于绝缘层上。对准标记为 10-20 微米的正方形阵列，周期性分布在基片上，其结构贯穿芯层和绝缘层，截止在衬底层。该发明使得一次性可加工的基片数量增加，提高了加工效率并降低了加工成本。

资料来源：壹专利 2022-06-28

华中科技大学公开低损耗薄膜铌酸锂光波导制备方法专利

铌酸锂是一种具有电光效应、非线性光学、压电、铁电等特性的多功能材料，并在光通信、集成光电子器件等领域得到了广泛的应用。相较于体材料铌酸锂，薄膜铌酸锂同时具有优异的电光特性与可片上集成等特性，逐渐成为下一代光子集成器件的潜在解决方案。基于薄膜铌酸锂平台的调制器、光学微腔、模式转换器等器件的研发，为解决当前光通信和信号处理需求提供了可能。为了实现基于薄膜铌酸锂的光电子器件，需要设计各种集成光波导结构。通过工艺制备实现高加工精度、低损耗的光波导结构对于大规模薄膜铌酸锂光电子器件的加工、有效提升器件性能具有十分重要的意义。

然而，工艺制备出低损耗薄膜铌酸锂波导仍然是一个国际难题。使用光刻和刻蚀等工艺制备方法在薄膜铌酸锂晶圆上加工波导是近年来的研究热点。传统的薄膜铌酸锂波导制备方法是采用金属或二氧化硅等硬掩膜对薄膜铌酸锂进行刻蚀，在刻蚀过程中必然会产生副产物附着在波导表面，从而增加波导侧壁粗糙度进而提升波导传输损耗。另一方面，硬掩膜会降低波导制备的尺寸精度，不利于精细加工。此外，生长硬掩膜还会增加波导制备的工艺步骤，提升工艺流程的复杂度。

波导的加工精度、传输损耗对于基于薄膜铌酸锂平台的光电子器件的性能有较大的影响，因而需要探索一种新的工艺制备方案以实现高加工精度、低损耗的薄膜铌酸锂光波导制备。

华中科技大学为此申请了一项名为“一种基于电子束光刻胶的低损耗薄膜铌酸锂光波导制备方法”的发明专利，该专利于 2023 年 6 月 27 日公开，公开号为 CN116338857A。该发明不需要额外生长硬掩膜，加工精度高，不会产生氟化锂副产物沉积，能够有效减少波导的边缘粗糙度和波导传输损耗。

资料来源：壹专利 2023-06-27

电子束光刻技术动态

美国公司 Zyvex 使用电子束光刻制造出 0.7nm 芯片

2022 年 9 月 19 日，美国公司 Zyvex 实验室宣布世界上最高分辨率的光刻系统——ZyvexLithol™。该工具采用量子物理技术，实现了 768 皮米(即 0.768 纳米)的原子级精密图案和亚纳米级分辨率。

1、ZyvexLithol™：首次商业化原子级精密光刻技术

ZyvexLithol™是基于 Zyvex 实验室自 2007 年以来一直在改进的扫描隧穿显微镜（STM）仪器，并集成了许多自动化特性和功能，这是任何商用扫描隧穿显微镜所没有的。现在，Zyvex 实验室正在接受 ZyvexLithol™系统的订单，交货期约为 6 个月。

STM 光刻技术的发明者、2014 年费曼奖得主、伊利诺伊大学教授 Joe Lyding 表示：“到目前为止，Zyvex 实验室的技术是最先进的，也是这种原子级精确光刻技术的唯一商业化实现。”

2、氢去钝化光刻 (HDL)：实现更高的分辨率和精度

氢去钝化光刻 (HDL) 是电子束光刻 (EBL) 的一种形式，它通过非常简单的仪器实现原子分辨率，并使用能量非常低的电子。它使用量子物理学有效地聚焦低能电子和振动加热方法，以产生高度非线性（多电子）的曝光机制。HDL 使用附着在硅表面的单层 H 原子作为非常薄的抗蚀剂层，并使用电子刺激解吸在抗蚀剂中创建图案。

传统 EBL 使用大型昂贵的电子光学系统和非常高的能量 (200Kev) 来实现小光斑尺寸；但是高能电子（获得小光斑尺寸所必需的）分散在传统 EBL 使用的聚合物抗蚀剂中，并分散沉积的能量，从而形成更大的结构。HDL 实现了比传统 EBL 更高的分辨率和精度。

使用 HDL，实验团队能够暴露比 EBL 的 10% 阈值半径小 >10 倍的单个原子。这个小得多的曝光区域令人惊讶，因为 HDL 不使用光学器件，只是将钨金属尖端放置在 H 钝化硅样品上方约 1nm 处。人们会期望，如果没有光学器件来聚焦来自尖端的电子，那么曝光区域会更大。

3、完整的扫描隧穿光刻系统：六大功能

嵌入 ZyvexLitho1™ 的是 ZyVector™。这个 20 位数字控制系统具有低噪音、低延迟的特点，使用户能够为固态量子设备和其他纳米设备和材料制作原子级的精确图案。ZyvexLitho1™ 是一个完整的扫描隧穿光刻系统，具有任何其他商业扫描隧穿光刻系统不具备的功能：**能够实现无失真成像、自适应电流反馈回路、自动晶格对准、数字矢量光刻、自动化脚本和内置计量。**

不仅如此，完整的 ZyvexLitho1™ 系统还包括一个为制造量子器件而配置的 ScientaOmicron 超高真空 STM（扫描隧穿显微镜）。

资料来源：光子盒 2022-09-21 新闻

弗劳恩霍夫研究所生产直径近 30 厘米的超表面

到目前为止，传统的制造工艺通常只能实现小的超表面，通常小于一平方毫米。Fraunhofer IOF 的研究人员现在首次成功地使用电子束光刻技术制造了直径近 30 厘米的超表面，这是一项世界纪录。

高精度、高效率的高分辨率结构

但研究人员是如何实现这一里程碑的研究成果呢？答案是：借助电子束光刻。Fraunhofer IOF 研究员、该研究所科学委员会成员 Uwe Zeitner 教授博士解释道：“为了生产我们的超表面，我们使用了一种称为字符投影的电子束光刻的特殊书写策略。”字符投影是一种将图案划分为较小单元的方法。然后使用电子束在表面上依次创建这些小图案中的每一个。这使得能够以高精度和高效率制造复杂的结构。

Zeitner 说道：“使用字符投影，可以以相对较高的速度平行曝光非常高分辨率的结构。这对于电子束光刻来说是不寻常的。”

传统的光刻技术在制造更大的结构时往往达到了极限，研究人员表示“由于低于波长的结构尺寸较小，高分辨率电子束光刻原则上非常适合制造超表面结构。”

“然而，这项技术相对较慢。到目前为止，基本上只有面积相对较小的元素才能用它实现，主要在几平方毫米左右。对于较大的面积，曝光时间很快就

会达到不切实际的大值。”通过使用字符投影，Uwe Zeitner 表示，科学家们现在能够在没有曝光时间“爆炸”的情况下解决电子束光刻的高分辨率和大元件面积问题。因此，该论文的作者表明，电子束光刻可以是一种在大面积上制造微米和纳米光学结构的技术。

缩小尺寸，同时增加功能

新的制造技术有助于在未来制造更薄的光学系统。Falk Eilenberger 说：“这项技术可以彻底改变成像光学系统。”“因为这将有可能缩小系统的尺寸，同时增加其光学功能。”

Uwe Zeitner 补充道：“这种大的超表面对于在小空间内需要大偏转角的紧凑型光学器件来说尤其有利。例如，在虚拟/增强现实眼镜中就是这样。对于智能手机中的非常小的光学器件，这种方法也可以实现有利的设计。”其他潜在的应用包括高分辨率光谱学或计算机生成的全息图。

资料来源：中国光学期刊网 2023-06-27 新闻

湖南大学开发对电子束辐照敏感的环保型光刻胶材料

以硅基光刻工艺为核心的半导体制造技术，可实现电子器件的低成本、高通量与集成化制造。然而，利用硅基光刻技术制造柔性电子器件仍面临挑战。其中一个典型的难题是，光刻技术与柔性电子中广泛使用的可延展基底材料不兼容。例如，在湿法光刻过程中，有机溶剂会对聚合物柔性衬底造成溶解和破坏，柔性衬底也易于变形以及存在界面失稳等问题，这些问题在一定程度上会影响器件的性能，如工艺稳定性、一致性及器件的可靠性等。

近日，湖南大学段辉高教授团队开发出一种基于“光刻胶全干法转印”技术的新型光刻工艺，可用于柔性及不规则（曲面、悬空等）衬底上柔性电子器件的高保形制造。该工艺的关键在于开发了一种环保型（水基）可转印的光刻胶材料，该光刻胶具有对紫外光（UV）和电子束（EBL）辐照的双重敏感性，可用于制造多尺度图案。通过精准调控光刻胶材料的表面能及转移参数（如温度、速度等），可轻易实现高分辨、高密度、跨尺度光刻胶结构在硅基衬底上的脱附，并将其无损转移到柔性聚合物或不规则衬底上。利用光刻胶结构作为

掩膜图案，结合金属沉积和剥离工艺，可以实现柔性、不规则衬底上电子器件的原位和高保形制造。这种工艺具有高效、环保、低成本等特点，有望满足现代柔性电子器件对高精度、高可靠性和高稳定性的要求。

相关文章以题为 Dry-Transferrable Photoresist Enabled Reliable Conformal Patterning for Ultrathin Flexible Electronics 发表在《Advanced Materials》杂志上。

资料来源：高分子科技 2023-06-27 新闻

苏州大学等校实现全水环境下无刻蚀的电子束曝光技术

戈登摩尔定律指出：集成电路上可以容纳的晶体管数目在大约每经过 18 个月到 24 个月便会增加一倍，这就意味着未来集成电路的晶体管器件尺寸需要不断降低。传统的“Top-down”的电子束曝光技术主要是利用加速电子再电子束胶上面制备纳米图案，随后利用干法/湿法刻蚀将图案转移到衬底或者薄膜上，而这其中涉及的有机溶剂处理和样品的刻蚀处理会对样品造成了不可估量的损伤，因此，发展一种无损制备无机半导体薄膜图案化的方法显得及其重要。

近日，苏州大学邹贵付教授团队和南京大学张蜡宝教授团队在 ACS Nano 上发表了一种基于全水环境下无刻蚀的电子束曝光技术，实现了聚合物薄膜到无机薄膜的图案化过程。作者基于传统的聚合物薄膜为出发点，通过前驱体与还原性糖作为配位共聚点，在电子束的作用下实现薄膜精准图案化，最后在经过水洗和原位退火等步骤制备出无机半导体图案化薄膜。这一策略免去了传统微纳加工技术的刻蚀等步骤，改变了传统的“Top-down”薄膜刻蚀，实现了“Bottom-up”直接图案化薄膜，为后续半导体加工技术提供了一种可行性的思路 and 选择。

在研究过程中，发现聚合物具有多种功能化的化学结构，可通过加入不同的金属前驱体与其配位络合，从而能够得到含有各种金属离子的前驱体溶液。并以第三代半导体氧化锌为例，制备出了不同长度的氧化锌场效应管器件，进一步佐证了该策略的扩展性和切实性。

考虑到传统“Top-down”电子束曝光技术刻蚀薄膜的复杂过程，该研究团队以聚合物薄膜为出发点，设计出利用还原性的糖为共聚配位点，在电子束的

作用下实现聚合物与还原性糖的共聚合反应。由于聚合物和还原性糖的可溶性，可以在全水的环境下制备出所需半导体器件。此外，聚合物还具有能够配位多种金属离子的特性，因此能够制备出多种无机半导体薄膜的图案器件。该研究设计的无刻蚀电子束曝光技术不仅将聚合物薄膜与半导体图案化薄膜紧密相连，而且为今后半导体加工提供了一种全新的平台。

资料来源：ACS 材料 X 2023-03-16 新闻

地址：上海市永福路 265 号
邮编：200031
编辑：李嘉欣
责编：路炜
编审：林鹤
电话：021-64455555
邮件：istis@libnet.sh.cn
网址：www.istis.sh.cn