

In addition to EUV, there is also a lithography machine that seems to be very interesting –  
December 14, 2022

## 除了EUV，还有一种光刻机好像也很有戏（上）

发布于2022-12-14 18:49:11 作者：[黄焯锋](#) 资深产业分析师

今年进博会期间，我们特别采访了佳能。当时佳能提到一种名为纳米压印（nano-imprint）的光刻技术。前不久TechInsights发了一篇光刻技术当前发展现状的eBook，提到除了EUV光学曝光以外，lithography技术三个可能有前途的方向，包括NIL、DSA、EBL。NIL就是佳能所说的纳米压印。本文就来聊聊NIL。

今年进博会期间，我们特别采访了佳能——采访围绕的核心自然是佳能的光刻机。当时佳能提到一种名为纳米压印（nano-imprint）的光刻技术。这是一种不同于现在我们所熟知的基于EUV极紫外光光源的光学曝光的技术方向。

佳能说这种技术“类似于盖章，没有复杂的光学元器件”，不是在图案mask掩模板之后做微缩曝光，而是一种等比例技术，“一次压印成型，不像传统光刻会用到SADP/SAQP等复杂工艺”。

前不久TechInsights发了一篇光刻技术当前发展现状的eBook，提到除了EUV光学曝光以外，lithography技术三个可能有前途的方向，包括NIL（nano-imprint lithography）、DSA（direct self-assembly）、EBL（electron beam lithography）。NIL就是佳能所说的纳米压印。

这篇文章，我们就来聊聊这种不同于常规光学曝光路线的纳米压印。实际上我们认为nano-imprint lithography并非光学曝光，所以理论上叫“光刻”是不大合理的。不过似乎行业有这样的约定俗成，本文会将所有半导体制造流程中的lithography称作“光刻”（台湾习惯上将其译作“微影”其实会更妥帖）。

### 佳能还真是最大投注者

TechInsights和Cipher合作总结了光刻技术主流市场参与者，在几个主要光刻方向上的专利拥有量。佳能毫无疑问是NIL纳米压印技术方向投注最多的——当然这与其此前收购MII有关；没想到的是，ASML和台积电在NIL上其实也还是有相当投入的。

|  | Nanoimprint lithography | Extreme UV Lithography | Directed Self Assembly | TOTAL        |
|--|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| Canon Inc                              | 913                     | 3                      | 0                      | 916          |
| ASML Holding NV                        | 187                     | 345                    | 16                     | 548          |
| Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. | 145                     | 279                    | 24                     | 448          |
| Carl-Zeiss Stiftung                    | 38                      | 353                    | 0                      | 391          |
| Samsung Group                          | 70                      | 137                    | 68                     | 275          |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>1,353</b>            | <b>1,117</b>           | <b>108</b>             | <b>2,578</b> |



Currently active patent families (granted or pending) by organisation and technology.

来源: [LITHOGRAPHY: Gatekeeper to Technological Independence and Advancement](#), TechInsights

另外再附上国内部分参与者在这几项技术上的专利储备情况，此处不做过多评论。而从全球和国内在光刻技术方面的技术储备来看，纳米压印虽然谈不上主流-或者说在半导体IC制造上还并不曾全面崭露头角，也远不及EUV光学曝光那么知名，却似乎也有前途。

Portfolio size: Active families, by organisation and technology

|  | Nanoimprint Lithography | Extreme UV Lithography | Directed Self Assembly | Unrelated | TOTAL      |
|--|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------|------------|
| Chinese Academy of Sciences                    | 32                      | 71                     | 23                     | 2         | 128        |
| Shanghai Micro Electronics Equipment Co (SMEE) | 21                      | 2                      | 0                      | 0         | 23         |
| BOE Technology Group Ltd                       | 16                      | 2                      | 2                      | 0         | 20         |
| Beijing Institute of Technology                | 6                       | 10                     | 0                      | 0         | 16         |
| Soochow University                             | 11                      | 0                      | 1                      | 0         | 12         |
| Semiconductor Manufacturing International Corp | 3                       | 3                      | 5                      | 0         | 11         |
| Tsinghua University                            | 4                       | 1                      | 6                      | 0         | 11         |
| Zhongshan Aiscent Technologies Co., Ltd.       | 5                       | 0                      | 0                      | 0         | 5          |
| Qingdao Technological University               | 4                       | 0                      | 1                      | 0         | 5          |
| <b>TOTAL</b>                                   | <b>102</b>              | <b>89</b>              | <b>38</b>              | <b>2</b>  | <b>231</b> |



Currently active patent families (granted or pending) by organisation and technology.

来源: [LITHOGRAPHY: Gatekeeper to Technological Independence and Advancement](#), TechInsights

此前佳能就告诉我们，其纳米压印设备仍在“做量产评估，十几纳米已经成功实现”，“我们相信将来是能够做到的。”

前不久佳能就宣布准备在日本建造新工厂，以提升半导体光刻设备的产能。计划中扩产的工厂也会造KrF和i-line设备。而纳米压印设备则是佳能寄予了厚望、要在半导体制造领域开启新时代的产品。在今年第三财季面向投资者的会议上，佳能也特别提到了“尖端纳米压印光刻设备”。

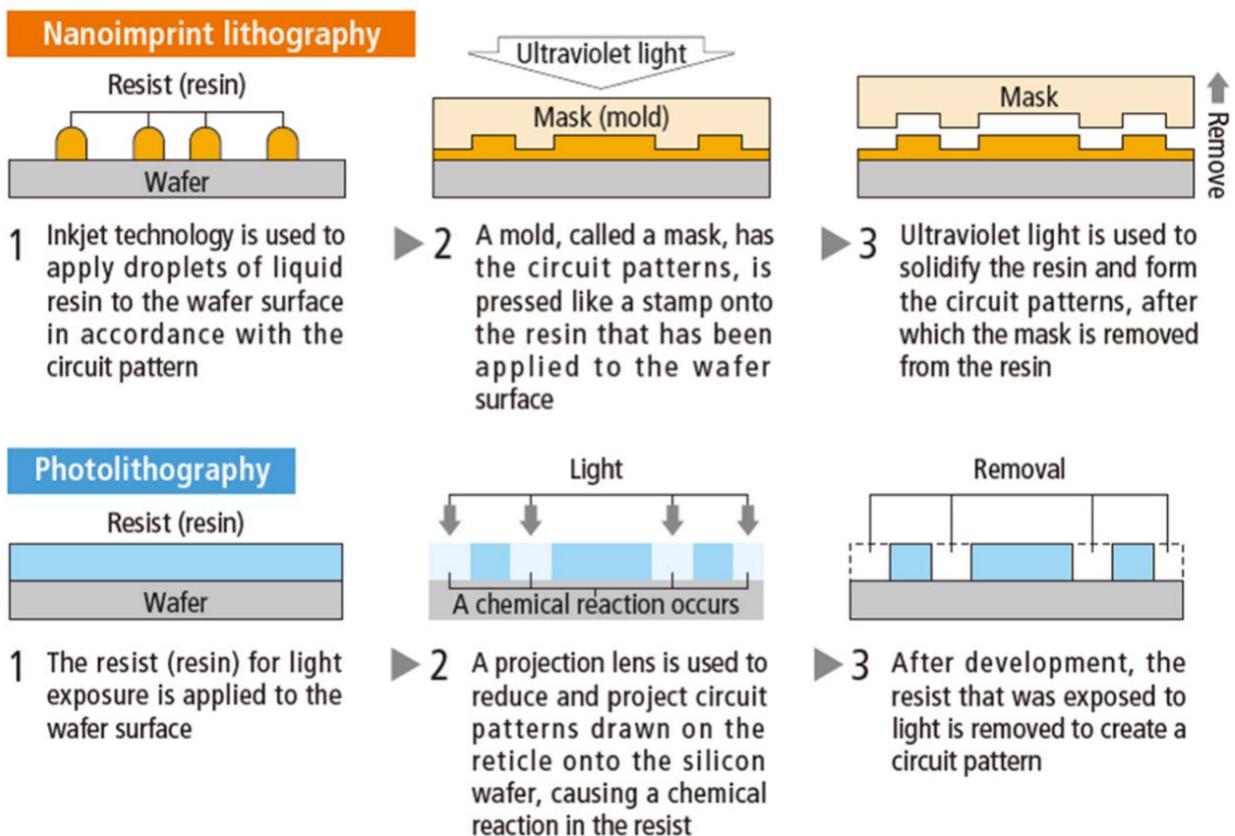
佳能的新厂位于东京以北的宇都宫，投入预计超过500亿日元，正式运营大约会从2025年开始。铠侠（Kioxia）届时计划开始用纳米压印技术，进行NAND闪存的量产——这件事倒并不让人意外，因为从有关纳米压印的历史新闻来看，东芝（铠侠前身）一直都是纳米压印在半导体制造领域的最大拥趸。

东芝/铠侠、佳能和DNP（Dai Nippon Printing，大日本印刷）此前在纳米压印技术上也做了不少年的合作。DNP 2015年据说是建立了纳米压印模板（template）的商业化生产系统；而东芝是2016年宣布计划用纳米压印来造NAND闪存的。目前这一技术方向的其他设备供应商还包括EVG（Electronic Visions Group）、SUSS MicroTec、Obducat——这几个都是欧洲公司。

佳能原本期望纳米压印于2019年达成规模化量产的，现在看来还是不切实际了些。而其纳米压印设备据说最初装于铠侠的四日市（Yokkaichi）NAND工厂，但目前尚未实现量产。

### 一直在尝试取代光学曝光

从大方向来理解NIL纳米压印技术，可以简单概括为：（1）首先系统基于预定义好的设计，在模板（template）上形成图案；（2）在substrate上涂上保护涂层（resist，不知此处可否直接将其称作光刻胶）；（3）然后就像冲压一样，模板对着substrate压上去，就在substrate上形成了图案。



从大方向来看，这样的方案和光学曝光差异还是挺大的，不过似乎压印用到的保护涂层需要用UV光来做cure固化（UV-NIL技术方向），多少也算有点“光刻”的名义吧；而且或许若探究template模板本身的生产过程会更复杂。

如果单说优势的话，纳米压印不需要用到昂贵的光学设备，也不用多次重复曝光，成本是其显著优势。还有个很符合时下热点的优势：节能。此前采访中，佳能就特别提到了纳米压印设备功耗显著低于EUV光刻机。据说前者相比于后者功耗低90%，整体的处理成本少40%，价格相比EUV scanner更是低了很多。

从Helmut Schift在[nanopedia](#)撰写的[资料](#)来看，NIL纳米压印技术最早可以追溯到上世纪70年代，发源自日本NTT，当时就有人申请了UV纳米压印光刻技术专利；不过NIL真正受人关注，是在1996年《科学（Science）》杂志发表报告提到了nanoimprint lithography这个词，文章由明尼苏达大学Stephen Chou教授（以及Peter Krauss和Preston Renstrom）发表。据说当时这名教授就演示了达成10nm的压印能力，而彼时光学曝光的限制还停留在50nm。

而且在3年之后，Stephan Chou创办了Nanonex，就搞NIL设备。本世纪初，NIL技术的主要参与者包括有EV Group、Molecular Imprints（MII）、Nanonex、Obducat等。这一时期NIL进入实际生产阶段，不过早期并不是针对半导体芯片制造的。

据说NIL在非半导体市场上的发展还不错，且某些领域的应用是真正走向了成熟的，典型的比如LED制造、生物工程（控制细胞生长？）、太阳能电池；在应用于DNA拉伸实验时，NIL达成了<10nm纳米流体通道（nanofluidic channel）的制造。而在发展过程中，真正坚持把半导体光刻这个应用方向做下去的也变得越来越少，MII是其中之一。

2003年NIL纳米压印是作为下一代光刻技术（NGL）技术备选正式存在于ITRS（International Roadmap for Semiconductors）路线中的；同处在NGL列表中的其他技术方向还包括157nm光刻、EUV光刻、EPL。也就是说，NIL是面向32nm、22nm节点的路线备选技术之一。

虽然我们都知道行业步入22nm节点之时，光学曝光仍然是毫无争议的主流，但NIL在更小的工艺节点上，仍位列ITRS；后续也有观点认为NIL会成为EUV曝光的最有力竞争者。2009年，MII还真的曾规划将NIL技术用于32nm逻辑节点生产制造。但进展也未及预期——据说是因为生产速度慢，而且缺陷率高，资金问题也成为MII发展技术的掣肘。



但NIL纳米压印能坚持至今未被彻底丢弃，大概还是表明其潜在价值的。像157nm光刻、EPL之类的技术就已经在历史长河中相继消失了；即便现在的主流还是193nm浸润式光刻配合多重曝光，以及发展态势相当良好的EUV——对应的7nm、5nm工艺节点都已经存在于我们的日常生活中。

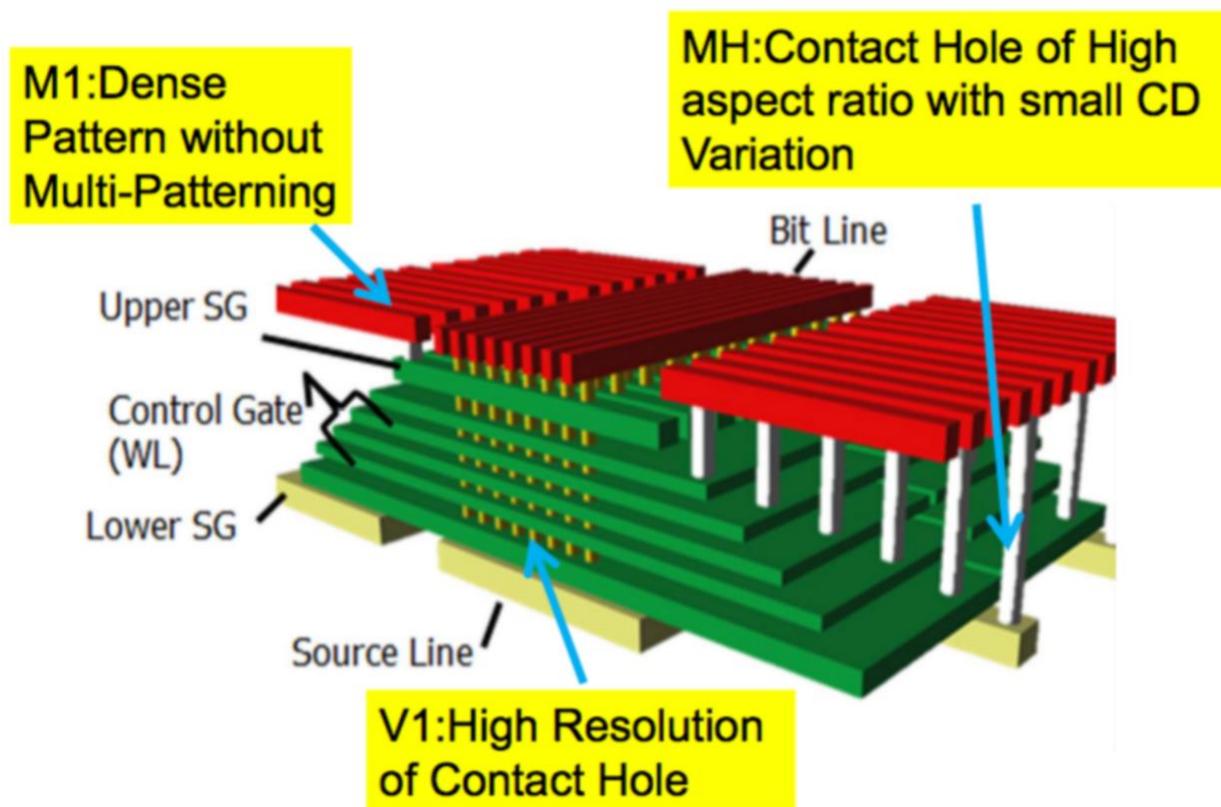
2014年，佳能收购了MII。实际在收购之前，MII就向东芝出货了纳米压印设备——东芝很早就想将NIL用在平面NAND闪存制造上。不过似乎193nm光刻和多重曝光就能将NAND单元尺寸从120nm缩减到1xnm节点；而且到这个节点，原有工艺就很难再实现存储单元和浮栅（floating gate）的微缩。

NAND很快向3D化发展，东芝对于NIL系统的应用也有了转向。大约5年前，东芝说非易失性存储器件的光刻需求，正从更高分辨率走向更低的成本，所以计划在3D NAND时代应用NIL，包括针对SCM（存储级内存）。

纳米压印准备就绪了吗？

在3D NAND技术上，东芝选择了和西数合作；此外SK海力士开发NIL技术也与东芝达成了一些协议。其实对于3D NAND而言，光刻这个步骤的技术地位已经不及从前了。制造3D NAND技术挑战主要转向了沉积和蚀刻。

东芝主要是期望在3D NAND的contact hole patterning上采用NIL，还有其他部分如下图。相比于光学曝光需要SADP/SAQP，NIL减少了EPE（edge placement error）的发生，并且预期中成本也能降低。



其实前些年就有报道说，NIL可能有戏了（或者每隔几年就会有这样的说法）。NIL本身的确面临着几个主要技术挑战。首先是template模板的缺陷率控制问题，否则就会在substrate上不停造成重复的缺陷。

另外overlay也一直是问题 – 也就是scanner对齐、打印各个层的精度问题。似乎2018年，佳能把MMO（mix and match overlay）做到了<3.5nm，同等精度差不多对存储器件生产而言是足够的。还有就是产能吞吐问题……下篇会对NIL面临的技术挑战做更详细的解读。

虽然NIL技术进展见诸报端的新闻并不多见，绝大部分还都不是和半导体制造相关的进展。但值得一提的是，在中美贸易摩擦市场环境下，NIL技术所处的位置显得很特别——尤其当中国使用EUV技术屡屡受阻的情况下。Asia Times前不久报道说，佳能未来的新工厂上线，则大量输出会面向中国。虽然还是要等后续的实物问世。

Helmut Schiff在介绍NIL的paper中，致谢部分提到NIL工艺技术的发展是许许多多的研究人员、工程师、技术专家共同参与的结果，他们开发出了工具、材料、工艺方案和应用。“我们很幸运NIL并不是为某个小众研究应用打造的，也不是仅仅专为半导体IC芯片大规模量产所准备的”——虽然我们还是更关注它在IC制造上的发展潜力。

本文的下篇会尝试更详细地去谈纳米压印NIL的工艺流程，及其主要技术挑战。

<https://www.eet-china.com/news/202212148391.html>