



# КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИТОГРАФИИ

## COMPLEMENTARY METHODS OF ENHANCING RESOLUTION OF OPTICAL LITHOGRAPHY

УДК 621.384

КРАСНИКОВ ГЕННАДИЙ ЯКОВЛЕВИЧ<sup>1</sup>

gkrasnikov@niime.ru

ГУШИН ОЛЕГ ПАВЛОВИЧ<sup>1</sup>

ogushin@niime.ru

ЛИТАВРИН МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ<sup>1,2</sup>

mlitavrin@niime.ru

ГОРНЕВ ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ<sup>1</sup>

egornev@niime.ru

KRASNIKOV GENNADY YA.<sup>1</sup>

gkrasnikov@niime.ru

GUSHCHIN OLEG P.<sup>1</sup>

ogushin@niime.ru

LITAVRIN MIKHAIL V.<sup>1,2</sup>

mlitavrin@niime.ru

GORNEV EVGENY S.<sup>1</sup>

egornev@niime.ru

<sup>1</sup> АО «НИИМЭ»

124460, г. Москва, г. Зеленоград,

1-й Западный проезд, 12, стр. 1

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт

(Государственный университет)

<sup>1</sup> Molecular Electronics Research Institute JSC

12/1 1st Zapadny Lane, Zelenograd,

Moscow, 124460, Russia

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology

(State University)

Рассмотрен метод DSA, его основные принципы и актуальные проблемы. Рассмотрен метод ML2 и его актуальные проблемы. Обоснована перспективность комплементарных методов для российской микроэлектроники.

**Ключевые слова:** направленная самосборка (directed self-assembly; DSA); EUV-литография (extreme ultraviolet); многолучевая электронная литография (multi-beam electron lithography; ML2); хемоэпитаксия; графоэпитаксия.

The DSA method, its basic principles and actual problems have been considered. The ML2 method and its actual problems have also been considered. The prospect of complementary methods for Russian microelectronics has been grounded.

**Keywords:** directed self-assembly (DSA); extreme ultraviolet lithography (EUV); multi-beam electron lithography (ML2); graphoepitaxy; chemoepitaxy.

Масштабирование топологических размеров интегральных схем уже на протяжении многих лет осуществляется практически только за счет уменьшения коэффициента  $k_1$ . Однако применение такого подхода для масштабирования 10–7–5 нм становится слишком дорогим. Вследствие этого, интенсивно развиваются методы NLG (Next Generation Lithography) — EUVL (Extreme Ultraviolet Lithography), ML2 (многолучевая электронная литография), DSA (Directed Self-Assembly, направленная самосборка) и наноимпринт (nanoimprint lithography, NIL).

Сканеры EUVL заметно дороже иммерсионных сканеров, а их производительность в разы ниже, поэтому стоимость прогона пластины для EUV-сканера выше почти на порядок, что приводит к гораздо более высокой себестоимости изделий, даже несмотря на то, что одно EUV-экспонирование может заменить несколько ArFi-экспонирований [1]. Значит, применение метода EUVL будет оправдано только при очень больших объемах производства, что могут позволить себе лишь самые крупные компании (Intel, Samsung, TSMC, GlobalFoundries).

Метод NIL основан на формировании рисунка в резисте, изменяющем свои свойства при высоком давлении, непосредственно шаблоном, за счет чего стоимость инфраструктуры шаблонов значительно выше, чем для фотолитографии. Кроме того, такой

подход имеет относительно высокую дефектность, так что его применение возможно для производства устройств с низкими требованиями к дефектности (например, производство МЕМС). В данной статье метод NIL рассматриваться не будет.

Все больше ожиданий, согласно возрастающему числу докладов на последних конференциях SPIE, связано с разработками в области DSA и ML2 как методов, дополняющих иммерсионную литографию и позволяющих уйти от мультипаттернирования на самых дорогих, экстремальных слоях для формирования линий металлизации Me1–Me2, а также контактных и переходных окон.

Метод ML2, в сравнении с мультипаттернированием, является более дешевым (низкие операционные расходы и капитальные вложения), в том числе за счет отказа от фотомасок, а обеспечиваемый этим методом более гибкий дизайн удобен как для небольших объемов производства, так и для R&D и выпуска пилотных партий [2]. Существенным недостатком данного метода является на порядки более низкая производительность, которая на текущий момент находится на уровне ~1 пл/ч (у иммерсионной литографии — 250 пл/ч). К концу 2018 г. планируется довести производительность до 10 пл/ч и окончательно решить остающиеся проблемы надежности самого литографа.



Метод DSA, обладая примерно такой же производительностью, что и мультипаттернирование, дает возможность снизить стоимость производства за счет упрощения процесса [3] и отказа от фотошаблонов для критических слоев, к тому же этот метод не требует специального оборудования. Также, не нужно принципиальных изменений процесса для перехода к размерам  $< 10$  нм. Однако достигнутый на данный момент компромисс между производительностью и дефектностью еще не удовлетворяет требованиям массового производства.

Метод DSA заключается в формировании контактных окон (contact hole, C/H) либо линий (line and space structure, L/S) путем нанесения на предварительно сформированную направляющую структуру раствора блок-сополимера, с его последующим отжигом и селективным травлением [4]. В процессе отжига блок-сополимер разделяется на разные фазы. Если полимер состоит из двух блоков разнородных материалов, то размер блоков будет определять размеры областей разной фазы. Этот механизм называется «самосборка», и в отсутствие направляющих сил будут образовываться случайные конфигурации разных фаз. Роль направляющей структуры (НС) заключается в придании определенной формы получающимся структурам. Например, если самосборка ограничена параллельными линейными стенками, то можно получить рисунок, состоящий из чередующихся в горизонтальном направлении слоев, или же, если дано изображение отверстий, путем самосборки можно сформировать меньшие по размеру отверстия внутри данных. Направленная самосборка является комплементарным методом (для формирования НС используют методы оптической либо электронной литографии). Ключевую роль в процессе самоорганизации играет сродство НС (нейтральное либо к одной из составляющих сополимера), поскольку именно свойства поверхности этого слоя управляют самосборкой [5]. Когда метод DSA сможет удовлетворить требованиям по позиционированию и дефектности при достаточно небольшом времени отжига (чем дольше отжиг — тем меньше DSA-дефектов, но тем ниже производительность), а DSA-совместимые конструкции смогут интегрировать в существующие КМОП-технологии, то этот метод позволит значительно снизить стоимость формирования структур в сравнении с мультипаттернированием, так как в этом случае исчезает потребность в комплексах шаблонов для критических слоев и упрощается сам процесс.

В течение последних нескольких лет наблюдается значительный прогресс в разработке процессов DSA. Согласно количеству

докладов на конференции SPIE 2017, данный метод является вторым по популярности среди методов NGL (первый — EUV-литография). Большинство докладов по теме DSA уделено основным причинам дефектов, а также материалам для самосборки на размерах  $< 10$  нм (традиционно используемый в методе DSA блок-сополимер полистирол-поли(метилметакрилат) на таких размерах разделяется на фазы недостаточно хорошо).

Необходимо также отметить, что методом DSA можно усиливать разрешение не только иммерсионной, но и «сухой» литографии [6]. Эти результаты показывают актуальность метода DSA для отечественной микроэлектроники как одного из перспективных методов усиления разрешения литографии [7].

Таким образом, рассмотрены комплементарные методы усиления разрешения оптической литографии ML2 и DSA, которые позволят удешевить и упростить процесс уменьшения минимальных размеров литографических структур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Korczynski E. *EUVL Materials Readiness for HVM* // Semiconductor Manufacturing & Design COMMUNITY. 2017. URL: <http://semd.com/blog/2017/06/02/euvm-materials-readiness-for-hvm/> (дата обращения 14.08.2017).
2. Lattard L., Servin I., Pradelles J. *et al. Overlay Performance Assessment of MAPPER's FLX-1200 (Conference Presentation)*. Proc. of SPIE 10144, Emerging Patterning Technologies, 101440N.
3. Chan B. T., Pathangi H., Gronheid R. *et al. Improved Cost-effectiveness of the Block Co-polymer Anneal Process for DSA* // Proc. of SPIE, Vol. 9777, p. 97771Z-1–97771Z-5.
4. Красников Г. Я., Гущин О. П., Литаврин М. В., Горнев Е. С. DSA — комплементарный метод усиления разрешения иммерсионной литографии // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника. 2017. № 1 (165). — С. 4–17.
5. Tiron R., Gharby A., Patricia P. B. *Template Affinity Role in CH Shrink by DSA Planarization* // Proc. of SPIE 9423, 2015. С. 942317-1–942317-11.
6. Guerrero D. J., Hockey M. A., Wang Y. *et al. Multifunctional Hard-mask Neutral Layer for Directed Self-assembly (DSA) Patterning* // Proc. of SPIE 8680, 2013, pp. 86801-1–86801-9.
7. Красников Г. Я., Гущин О. П., Морозов А. Д. [и др.] Использование CAR-резистов в электронно-лучевой литографии // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника. 2015. № 1 (157). — С. 41–48.



**ТЕХНОСФЕРА**  
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

ЭЛЕКТРОНИКА  
НАУКА  
ТЕХНОЛОГИИ  
БИЗНЕС

НАНОИНДУСТРИЯ  
НАУКА  
ТЕХНОЛОГИИ  
БИЗНЕС

ФОТОНИКА  
НАУКА  
ТЕХНОЛОГИИ  
БИЗНЕС

ПЕРВАЯ  
МИЛЯ  
НАУКА  
ТЕХНОЛОГИИ  
БИЗНЕС

АНАЛИТИКА  
НАУКА  
ТЕХНОЛОГИИ  
БИЗНЕС

СТАНКОИНСТРУМЕНТ  
НАУКА  
ТЕХНОЛОГИИ  
БИЗНЕС