

Анализ метода усиления разрешающей способности литографии - Directed Self-Assembly (DSA)

М.В. Литаврин^{1,2}, О.П. Гущин², Е.С. Горнев²

¹Московский физико-технический институт (Государственный университет)

²Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»

В работе рассмотрен новый, интенсивно развивающийся метод усиления разрешения в оптической литографии, основанный на направленной самосборке (directed self-assembly, DSA). Рассматриваются также еще не решенные проблемы этого метода и возможности к его улучшению. Разрабатываемый способ позволяет решить главную проблему современной литографии критичных слоёв, заметно снизить стоимость и сложность литографических процессов для размеров в диапазоне 40-20 нм, а в перспективе – 10 нм и ниже [1, 2].

Принцип DSA заключается в формировании контактных окон (contact hole, C/H), либо линий (line and space structure, L/S) путем нанесения на поверхность, после ее соответствующей подготовки, блок-сополимера, его последующего отжига и самоорганизации. 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 ограничений или направляющих сил, образуются случайные конфигурации разных фаз (рис. 1). С помощью же введения определенных ограничений (т.е. формирования направляющей структуры), можно сделать получаемый рисунок регулярным (т.е. имеющим полушаг). Например, если самосборка ограничена параллельными линейными стенками, то можно получить рисунок, состоящий из чередующихся в горизонтальном направлении слоев (рис. 2), или же, если дано изображение отверстий, путем самосборки можно сформировать меньшие по размеру отверстия внутри данных (рис. 3) [3]. Направленная самосборка не является самостоятельным литографическим методом (для формирования предварительного рисунка используют методы оптической, либо электронной литографии). Ключевую роль в процессе самоорганизации играет нейтральный слой, на который наносится SA-состав (self-assembling), поскольку именно свойства поверхности этого слоя и вызывают самосборку [4, 5]. Если DSA сможет удовлетворить требованиям по позиционированию и дефектности, а DSA-совместимые конструкции смогут интегрировать в существующие КМОП-технологии, то этот метод позволит значительно снизить стоимость формирования структур в сравнении с методами многократного формирования изображения (multi patterning, MP), поскольку нужен лишь один шаблон (для формирования направляющей структуры), а не набор, а также повысить качество и уменьшить размеры «однократных» рисунков вне зависимости от способа формирования направляющих структур.

В течение последних нескольких лет наблюдается значительный прогресс в разработке процессов DSA. Представленные доклады на конференциях мирового уровня отмечают снижение уровня дефектности, достаточное для того, чтобы дефектность на данный момент не являлась фактором, ограничивающим применение DSA в массовом производстве [4, 6]. Большинство докладов по технологии DSA посвящены новым материалам, которые позволят уменьшить минимальные размеры от 22 нм до 11-7 нм [1, 2]. Также был продемонстрирован новый процесс интеграции схем, что позволит упростить подрезание повторяющихся массивов в КМОП маршруте, которые значительно проще формировать методом DSA [7]. В 2014 году фирма IBM представила электрические свойства чипов, где метод DSA применялся для формирования fin-слоев в технологии FINFET транзисторов [8]. Однако, технология DSA пока еще находится на стадии опытных образцов [4]. Согласно исследованиям фирмы Tokyo Electron, основные проблемы метода направленной самосборки связаны с конструкциями и интеграцией в процессы [1]. В настоящее время АО НИИМЭ приступило к интенсивным исследованиям и разработке технологии DSA. Наиболее интенсивные исследования в направлении разработки технологии DSA ведут крупнейшие исследовательские центры CEA – Leti и IMEC.

В свою очередь, эксперименты, проведенные фирмой Micron, показали, что на данный момент направленная самосборка имеет несколько худшие показатели неровности края сформированного рисунка (line width roughness, LWR) для процесса 16-нм флэш-памяти NAND, чем планировалось [9]. А это значит, что для успешной конкуренции DSA с методом

четырёхкратного формирования изображения (self-aligned quadruple patterning, SAQP) в процессе с полшагом 16 нм, показатель LWR необходимо улучшить.

Таким образом, предложенное рассмотрение технологии DSA, которая, обладая потенциальной КМОП-совместимостью, позволит уменьшить минимальные размеры литографических структур.

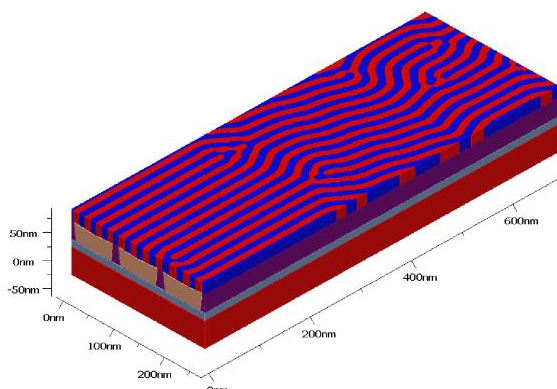


Рис. 1. Недостаточно упорядоченные структуры, сформированные методом DSA.

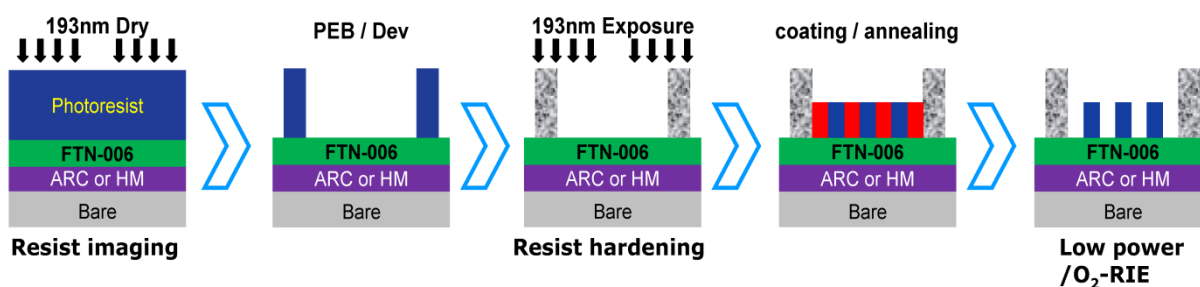


Рис. 2. Формирование L/S структуры методом DSA.

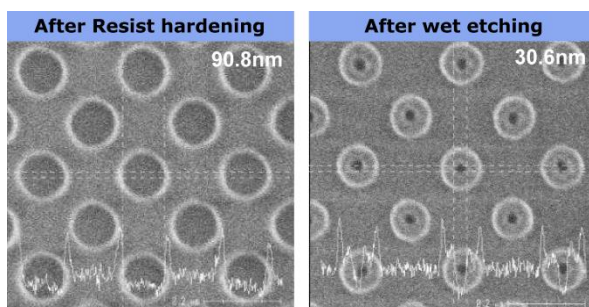


Рис. 3. Уменьшение размеров контактных отверстий методом DSA.

Литература

1. M. Neisser, S. Wurm ITRS lithography roadmap: 2015 challenges // Advanced Optical Technologies. – 2015. P.235-240
2. J. Xhang [et al] Proc. SPIE 9051. – 2014
3. Lee J.W. [et al.] Directed Self-Assembly Process and Materials Development // Sematech Symposium Korea. – 2012
4. D.J. Guerrero [et al.] Multifunctional hardmask neutral layer for directed self-assembly (DSA) patterning // SPIE. – 2013
5. M. Kammon [et al.] Behavioral polymer modeling for virtual fabrication using directed self assembly at the 5nm node // 1st International Symposium on Directed Self-Assembly. - 2015
6. M. Somervell [et al.] Proc. SPIE 9425 – 2015
7. G. Doerk [et al] Proc. SPIE 8680 – 2013
8. C. Liu [et al] Proc. SPIE. 9049 – 2014
9. D. Millward [et al] Proc. SPIE 9054 - 2014