

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИТОГРАФИИ \*)

<sup>1</sup>Чхало Н.И., <sup>2</sup>Голубев С.В., <sup>1</sup>Красильник З.Ф., <sup>1</sup>Полковников В.Н.,

<sup>2</sup>Стародубцев М.В.

<sup>1</sup>*Институт физики микроструктур РАН, [chkhalo@ipmras.ru](mailto:chkhalo@ipmras.ru),*

<sup>2</sup>*Институт прикладной физики РАН, [s.golubev52@gmail.com](mailto:s.golubev52@gmail.com)*

Особое место литографии на фоне сотен технологических операций и видов оборудования, используемых при производстве чипов, обусловлено следующим. Во-первых, прогресс литографии практически стал синонимом развития микроэлектроники, так как он напрямую зависит от топологических размеров на чипе, формируемых литографией. Во-вторых, оборудование для литографии, а так же расходные материалы являются самыми дорогими. Так только набор масок для производства одного чипа может стоить до 10 млн. долларов США.

До недавнего времени основным видом являлась иммерсионная литография на длине волны 193 нм. Однако большая длина волны ограничивает разрешение на уровне 65 нм. Использование различных методов повышения разрешающей способности позволили «рисовать» линии шириной до 8 нм [1]. Однако их применение резко повышает процент брака, уменьшает в разы производительность, требует применение уникальных и дорогостоящих резистов, увеличивает требуемое число масок. Поэтому в реальных чипах такие топологические размеры не используются. Обычно, иммерсионная литография используется от 16 нм и больше.

Процесс литографии возвращается к классической последовательности: нанесение, засветка и проявление резиста - с переходом в экстремальный ультрафиолетовый (ЭУФ) или рентгеновский диапазон. В настоящее время ASML, Нидерланды является единственным производителем ЭУФ литографов с рабочей длиной волны 13,5 нм. Выбор этой длины волны обусловлен наличием высокоотражающих Mo/Si многослойных зеркал и максимумом эмиссии высокозарядных ионов олова на этой длине волны. Оловянная мишень возбуждается импульсным излучением CO<sub>2</sub> лазера со средней мощностью, превышающей 20 кВт. Благодаря лучшему пространственному разрешению в современных чипах слои с минимальными топологическими размерами делаются именно с помощью этой технологии.

Разработка собственного рентгеновского литографа предполагает обладание рядом критических технологий. В докладе будут дан обзор этих технологий. Особое внимание будут уделено действующим и перспективным источникам ЭУФ/рентгеновского излучения для литографии и сопутствующим ей технологий. Обсуждаются проблемы и перспективы развития этой технологии на ближайшие годы. Сообщается о новой концепции рентгеновской литографии, развиваемой в Институте физики микроструктур РАН, в соавторстве с ИПФ РАН [2]. Приводится обоснование преимуществ и перспектив реализуемости литографии на новой длине волны 11,2 нм. Дается краткий обзор отечественного уровня развития критических технологий, обсуждается Дорожная карта развития рентгеновской литографии в РФ.

### Литература

- [1]. K. Kim, et al. // Proc. of SPIE V. 8326, P. 832605 ( 2012).
- [2]. N.I. Chkhalo. Russian Microelectronics. V. 53, No. 5. P. 397 (2024).

---

\*) [DOI – тезисы на английском](#)