

Оловянный источник из ИСАНа

Две струи расплавленного олова, между которыми время от времени загорается разряд, испускающий мягкие рентгеновские лучи, — возможно, таким будет источник света для нанолитографии, то есть производства микросхем, ширина линий на которых измеряется нанометрами. Этот источник разработан учеными из Троицкого Института спектроскопии РАН.

Ныне процессоры делают по так называемой 90- и 65-нанометровым технологиям, то есть с шириной линий 90 и 65 нм. Причем в этом году уже более половины процессоров компании «Intel» были изготовлены по технологии 65 нм, а ближайший конкурент — компания «AMD» внедрит эту технологию к лету 2007 года. Впрочем, инженеры «Интела» к тому времени собираются уже перейти на технологию 45 нм, а к 2009-му — и вовсе на 32 нм.

Уменьшение размеров элемента микросхемы требует существенных изменений во всем оборудовании: нужны еще более точные механизмы, еще более чистые комнаты и прочее. Однако самое главное — источник света. Он должен быть, во-первых, мощным, а во-вторых, длина волны его излучения никак не может превышать толщину линий на микросхеме больше чем в два раза. Иначе из-за дифракции никакой фотолитографии в принципе не получится. А этот метод — засветка эмульсии фоторезиста светом, отраженным от маски с наносимым узором, и последующее удаление засвеченных участков, был и остается единственным методом массового изготовления микросхем. Конечно, нанотехнологи уже умеют с помощью своих зондовых микроскопов рисовать отдельные линии нанометровой толщины, но изготовители процессоров пока не рискуют отказаться от хорошо отлаженного метода и перейти на некое подобие гравировки микросхем вручную.

Так вот, если 65 нм — это ультрафиолетовый свет, то 32 нм и тем более 22 нм — уже мягкий рентген. Ультрафиолет еще можно сфокусировать привычными линзами, а вот рентгеновским лучом

управляют с помощью так называемых брэгговских многослойных зеркал. Пик отражения таких зеркал приходится на 13,5 нм. Значит, нужен источник, который дает излучение с та-кой длиной волны. И до недавнего времени в мире не было источника мягкого рентгена с достаточно мощным для быстрой засветки фоторезиста лучом. В принципе большая выдержка отнюдь не препятствует изготовлению микросхем, но это будет технология штучных изделий, непригодная для массового производства. Вот ученые во всем мире и бьются над тем, чтобы сделать достаточно мощный источник рентгеновского света с длиной волны 13,5 нм.

«По инициативе мирового лидера в производстве литографических машин, голландской компании «ASMLithography» нас пригласили в европейский проект «MoreMoore» (смысл названия «больше, чем требует Мур», — тот самый Гордон Мур, один из основателей компании «Интел», эмпирический закон которого предсказывает удвоения плотности транзисторов каждые два года). «Этот консорциум специально создан для разработки технологии «32 нм», — рассказывает заведующий лабораторией спектроскопии плазмы К.Н.Кошелев из Института спектроскопии РАН. — Его деятельность финансирует Еврокомиссия с помощью Шестой рамочной программы. В состав консорциума помимо научных институтов входят и крупные компании. Каждый участник отвечает за свою часть работы. Например, изготовление источника света — задача, над которой работают сразу несколько компаний: итальянская, немецкая, французская, а из наиболее известных — голландский «Philips», который и реализует одну из схем, разработанных нами совместно с «ASML». Для получения света столь короткой длины волны, они пробуют различные типы разрядов и даже схему, близкую к так называемому «лазерному термояду», когда плазму нагревают до полумиллиона градусов лучом очень мощного лазера. Это перспективная технология, но пока слишком дорогая. Мы решили заняться плазмой электрических разрядов. После знакомства с техническим заданием возникла мысль, что выполнить его вряд ли возможно, однако спустя три года получили то, что требовалось. Но за это время представления тех инженеров, которые проектируют саму машину для изготовления микросхем, сильно изменились. Соответственно выросли и требования к параметрам источника. Мы думаем над тем, как их выполнить, и конструкция с жидкими электродами — одно из

возможных решений. Пока же в прототипе литографической машины, на котором уже начинают отрабатывать технологию, стоит тот самый, филипповский, источник света, созданный при нашем участии».

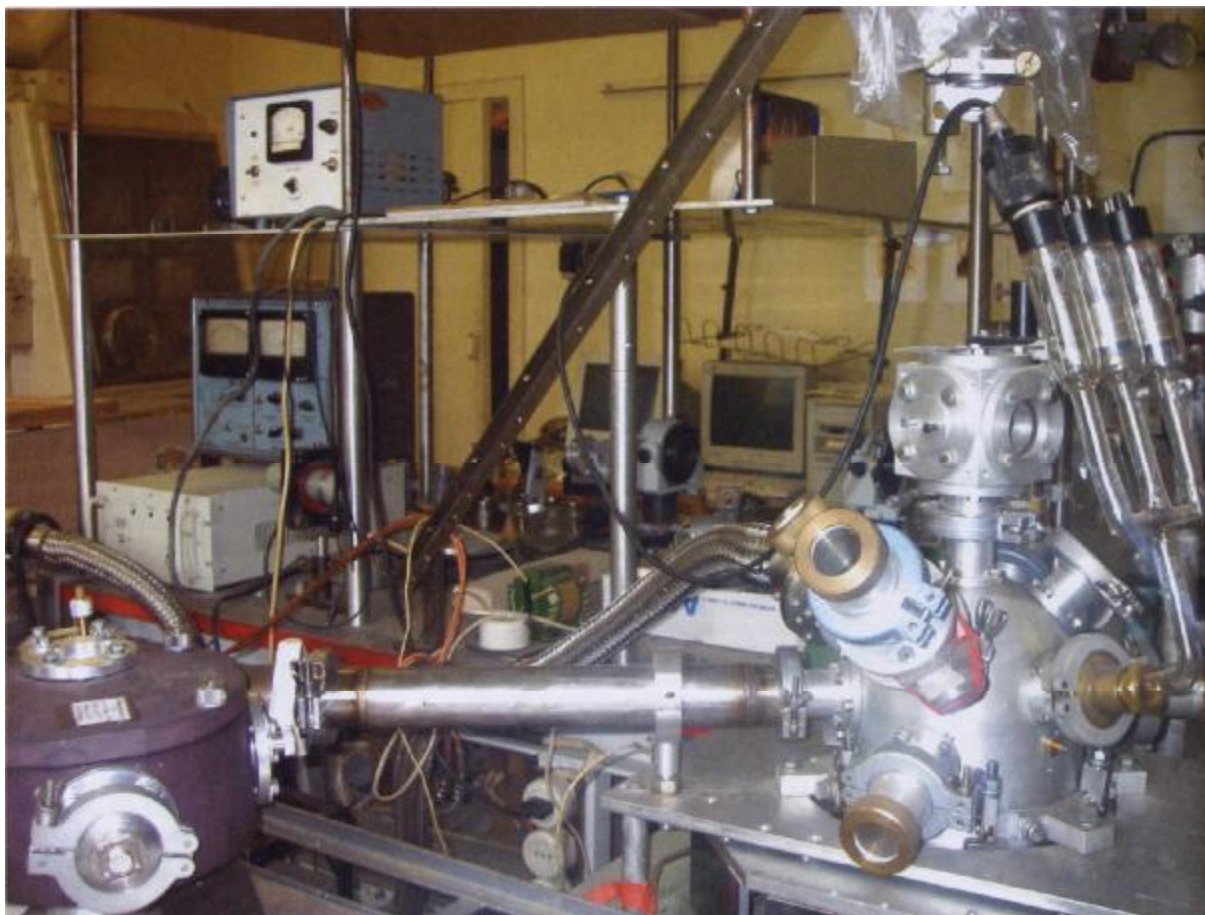
Первый шаг, который сделали ученые из ИСАНа, — предложили заменить рабочее вещество с первоначально предложенного ксенона на олово. Работать с оловом труднее, но эффективность преобразования энергии разряда в полезное излучение вблизи 13,5 нм значительно выше. В созданном источнике сначала лучом не очень мощного и потому дешевого лазера испаряют олово в пространстве между электродами. Затем через получившееся облачко газа пропускают мощный импульсный разряд с током в десятки килоампер. Получается горячая плазма, которая испускает импульс мягкого рентгена.

Главная проблема с созданием источника состоит в том, что он переводит в полезный свет всего 2—3% полной мощности, причем размер светящейся области равен одному кубическому миллиметру. И от этого миллиметрового пятнышка приходится отводить огромную энергию — 200 киловатт. Как это сделать? Поначалу была предложена схема, подобная револьверу: выстрел лазера, испарение олова, вспышка света, после чего сработавшая пара электродов уходит к охладителю и на ее место встает другая пара. А потом ученым из Троицка пришла в голову гораздо более изящная схема. Раз выделяется много тепла, которое грозит расплавить электроды, так почему бы сразу же не сделать их жидкими? Во-первых, они смогут выдерживать гораздо более сильный нагрев, а во-вторых, стекая в ванну, жидкость будет уносить с собой излишнее тепло, выделяемое в разряде. Если же сделать электроды оловянными, то испарять олово можно будет, освещая лучом лазера один из них. Так появился источник, в котором постоянно текут две струйки олова, а между ними с частотой в несколько килогерц вспыхивает газовый разряд, дающий рентгеновское излучение. О том, как это происходит, можно судить по серии фотографий разряда. Каждый кадр снят в течение 10 наносекунд, время между началами кадров — также 10 наносекунд. Первые два кадра соответствуют нарастанию разрядного тока, сжатию и разогреву плазмы, третий кадр соответствует началу интенсивного излучения на длине волны 13,5 нм. Основная энергия излучается в четвертом и пятом

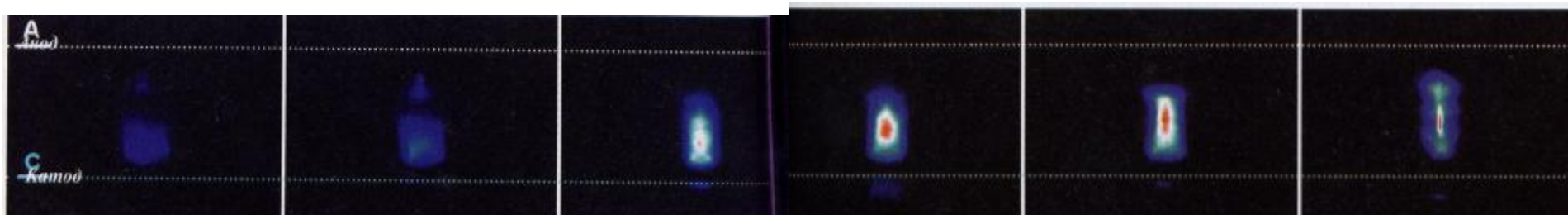
кадрах, шестой кадр соответствует фазе вытекания горячей плазмы из области пинча в направлении к электродам и затухания источника. Полная мощность потерь электрической энергии в максимуме излучения (четвертый и пятый кадры) около 100 МВт.

«Прототип литографической машины, или, как его называют, альфа-тул, от английского tool — инструмент, использует предыдущий тип источника, револьверный, — говорит К.Н.Кошелев. — Если жидкие электроды позволят утроить мощность, а мы на это рассчитываем, то есть большие шансы, что их будут использовать в последней версии коммерческого продукта — гамма-тул, который ожидается после 2010 года. На прошедшей в конце октября 2006 года в Барселоне конференции «EUV Lithography» наши коллеги неплохо отнеслись к предложенной идее. Конечно, это пока журавль в небе, но очень симпатичный журавль. По крайней мере, наше сообщение отмечено во всех итоговых документах, а консорциум «МогeМоогe» назвал это направление наиболее приоритетным в своей деятельности в области источников излучения».

Кандидат
физико-математических наук С.М.Комаров



Так выглядит сделанный в ИСАНе прототип источника излучения для нанометровой литографии.



Излучение, развернутое во времени. Изображение получено в узком спектральном диапазоне вблизи 13,5 нм. Цветовая шкала иллюстрирует спектральную яркость излучения.