

Цифровая печать. Струйный принцип печати

Немного об истории и принципах струйной печати

» История струйной печати

Описывается технология так: «высокоскоростное точечное нанесение капель чернил из микроскопических отверстий на какой-либо твердый носитель для создания на нем изображения». Если говорить короче – технология струйной печати.

Казалось бы, история струйной печати начинается вместе с развитием компьютерной техники. Одной ей под силу управлять одновременно многочисленными скоростными процессами. Только печатающая головка современного струйного принтера имеет больше тысячи автономных дюз.

Однако история «печатающих струй», или, точнее, печатающих капель, уходит к 1833 году, то есть ей скоро 180 лет.

Началом можно считать исследования француза Феликса Савара (Felix Savart, 1791–1841), который в 1833 году, поучаствовав ранее в открытии закона «Био-Савара-Лапласа» и занявшись исследованиями жидкостей, выпускаемых через узкое отверстие, обнаружил и отметил однотипность образования капель.



Феликс Савар

Следующий шаг в развитии струйной технологии сделал в 1878 году Джон Уильям Стретт, третий барон Рэлей, Лорд Рэлей (Рэйли) (John Rayleigh, 1842—1919) — британский физик, открывший (с Уильямом Рамзаем) газ аргон и получивший за это Нобелевскую премию по физике в 1904 году.



Лорд Рэлей

Этот ученый впервые математически описал механизм распада струй жидкости и формирования капель, научно обосновав потерю стабильности заряженными каплями жидкости.

По расчетам Лорда Рэрея получалось, что электрически заряженные капли остаются стабильными только в том случае, если их радиус превышает так называемый "предел Рэрея". Этот предел устанавливает максимальный заряд, который может нести капля с определенным значением силы поверхностного натяжения и радиусом. Рэрей предположил, что при потере стабильности заряженной каплей она деформируется - из сферической становится эллиптической - и из противоположных ее концов "выстреливаются" микроскопические струи жидкости. Это продолжается до тех пор, пока капля не возвратится в равновесное состояние.

Только в 2003 году группе ученых из Технического университета Ильменау в Германии с помощью высокоскоростной микросъемки удалось практически доказать верность "предела Рэрея". Выяснилось, что процесс идет именно так, как и предсказывал лорд Рэрей.

Следующий заметный этап в развитии струйной печати, можно сказать, ознаменовавший ее рождение, произошел в 1948 году. Шведская фирма Siemens Elema запатентовала устройство аналоговой регистрации электрического напряжения – гальванометр, который вместо стрелки был оборудован распылителем чернил для регистрации показаний прибора. Через три года эта же фирма создала один из первых струйных самописцев, так называемый мингограф (Mingograph), который был уже коммерческим проектом.

С этого времени струйная технология уже не оставалась без внимания.

С начала 1960-х и до настоящего времени, количество фирм, занимающихся этим видом печати, непрерывно росло, а количество патентов по этой теме на сегодняшний день уже исчисляется сотнями.

» Непрерывная струйная печать

Первым делом, исследователи научились не дожидаться, пока струя распадется на капли сама, а управлять этим процессом. Выяснилось, что надо только немного помочь эффекту, который описал лорд Рэрей.

Это было достигнуто использованием пьезоэлектрических колебаний, накладывающих на струю дополнительное переменное давление. Струя жидкости, по сути, модулируется частотой колебаний пьезоэлемента. Образно говоря, получили скоростной «пулемет», непрерывно стреляющий каплями жидкости.

Цифровая печать. Струйный принцип печати

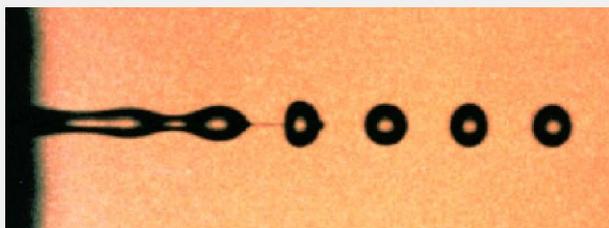


Фото 1. Эффект неустойчивости Рэлея для непрерывной струи жидкости inkjet принтера при частоте модуляции переменным давлением 10 кГц. Диаметр отверстия и струи вначале ее образования 50мкм. После разбиения на капли увеличивается в два раза.

Направлением полета капель можно управлять внешним электрическим полем, придав каждой капле электрический заряд. Появился принтер непрерывной струйной печати. При высоком давлении подаваемой жидкости (до 90 бар) может «выстреливаться» до 1000000 капель в секунду. Скорость движения капель при этом достигает 40 м/сек, размер капли – несколько микрон, расстояние от распылителя до материала 1-2 см. Такое расстояние до поверхности позволяет печатать на шероховатых или неровных материалах. Например, на гофро-упаковке, банках, бутылках таким способом проставляют маркировку срока годности товара.

Как оказалось впоследствии, так определилось одно из направлений струйной печати, а именно печать непрерывным потоком капель.

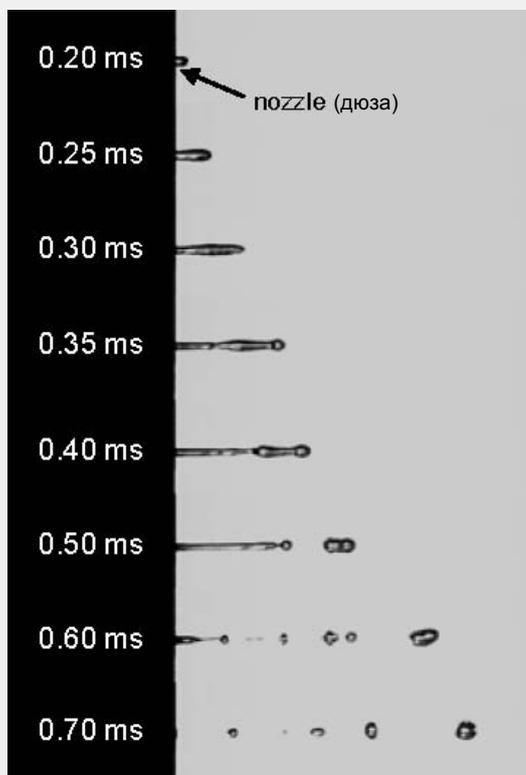


Фото 2. Скоростная съемка выхода струи жидкости из дюзы. Видно, как силы поверхностного натяжения разрывают струю на капли.

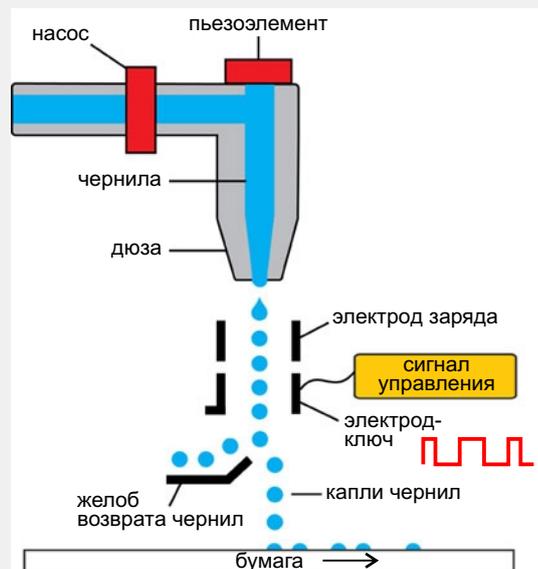


Рис. 1. Принцип непрерывной (continuous) струйной печати. Две траектории капель: либо в желоб возврата, либо на бумагу. Управление в режиме ключа.

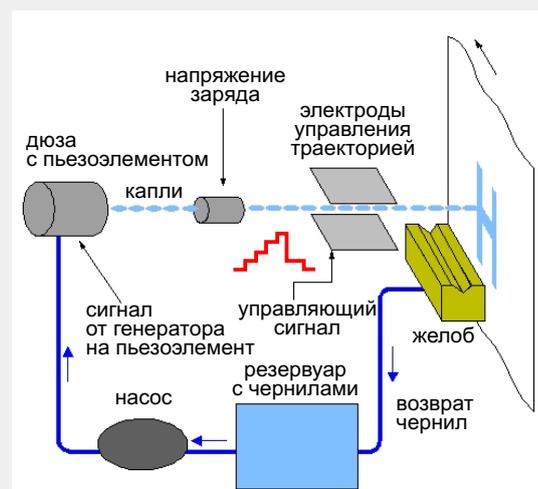


Рис. 2. Схема работы принтера непрерывной струйной печати с управляемой траекторией движения капли.

Несмотря на то, что способ непрерывной струйной печати используется в некоторых печатающих устройствах, имеющиеся у этого процесса недостатки, связанные с заправкой чернил, их точным отклонением и рециркуляцией ограничивают их применение. Турбулентность воздуха, созданная одновременным полетом большого количества капель с различными траекториями, также затрудняет точное отклонение капель. Необходимость наличия компонентов для управления захватом чернил, фильтрацией и ремиксов (пополнение потери растворителя) увеличивает габариты и повышает сложность системы. Более того, в непрерывных струйных принтерах расстояние между дюзой и запечатываемой поверхностью должно быть достаточно большим, чтобы поместить механизм прокачки чернил и систему отклонения капли. С учетом этого, скорость капли у дюзы должна быть не меньше 12 м в секунду.

Однако метод непрерывной струйной печати широко

Цифровая печать. Струйный принцип печати

применяется на рынке промышленного нанесения штрих-кодов и маркировки. Такие компании, как VedioJet, Domino, Imaje, Toxot, и Willet активно развиваются и продвигают продукцию в этой области. В последнее время Nur Advanced Technologies продемонстрировал рекламный щит размером до 16,4 фута, отпечатанный на струйном принтере с помощью непрерывной струйной технологии.

» «Покапельная» струйная печать

Идея «выстреливать» по одной капле организовала вторую ветвь развития технологии струйной печати. Этот тип формирования капель получил название drop-on-demand (капля по требованию). При такой печати нет «лишних» капель, которые надо собирать и отправлять для вторичного использования. Нет необходимости управлять траекторией движения каждой капли: капли летят только прямо и генерируются в нужный момент. Для формирования изображения перемещают дюзы (печатающую головку).

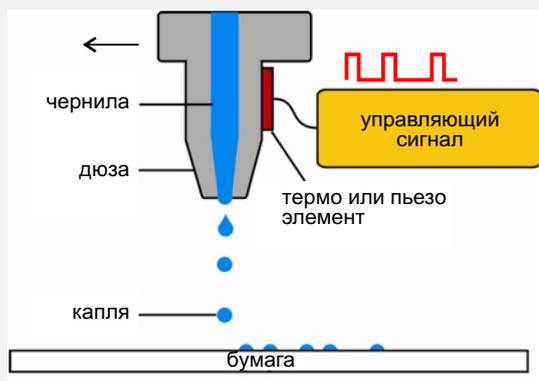


Рис. 3. Принцип печати «капля по требованию».

Для этой ветви струйной печати научная мысль создала несколько вариантов, принципиально отличающихся способом формирования единичной капли.

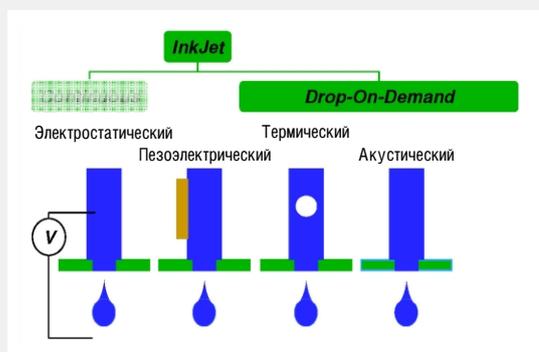


Рис. 4. Способы формирования капли по требованию.

Электростатический способ. Управляющие импульсы высокого напряжения вызывают выделение капель чернил из сопла. Электростатическое поле между печатающей головкой и бумагой является причиной, вызывающей отрыв от поверхности и перенос капли краски на бумагу. Электростатические силы могут формировать капли чернил меньшего диаметра, чем сопла, которые их образуют.

Пьезоэлектрический способ. Сжатие полости с чернилами при деформации ее стенки приводит к формированию вылетающей капли чернил. Обратная деформация заполняет камеру чернилами и готовит систему к выстреливанию следующей капли. В качестве элемента, оказывающего давление на стенку камеры с чернилами, а иногда и выполняющего функции изгибающейся стенки, служит пьезокерамическая пластина.

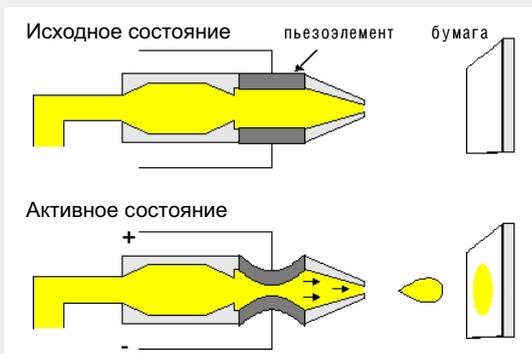


Рис. 5. Схема работы пьезоэлектрической головки

При подаче напряжения к электродам пьезоэлемента он деформируется. Величина деформации линейно зависит от напряжения. В зависимости от свойств и поляризации пьезокерамике свойственны несколько видов деформации. Двухслойные пьезоматериалы могут работать на изгиб.

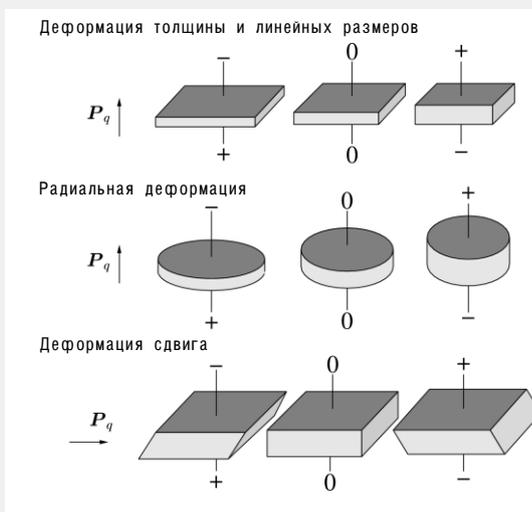


Рис. 6. Виды пьезокерамической деформации

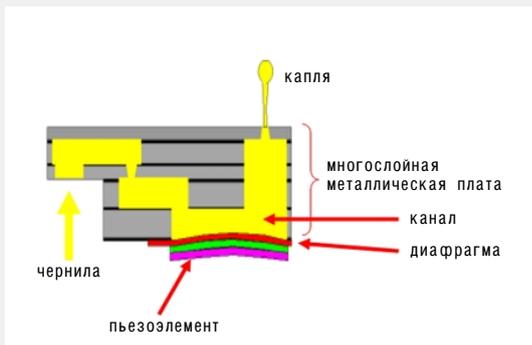


Рис. 7. Схема одного из вариантов конструкции пьезокерамического DOD (drop-on-demand)

Цифровая печать. Струйный принцип печати

Не вдаваясь в конструктивные особенности, можно отметить, что все варианты пьезоэлектрической деформации были опробованы в струйных принтерах.

Термический способ. Увеличение давления в объеме с жидкостью вызывает «микровзрывом» вскипания жидкости, находящейся в контакте с микронагревателем. При этом образуется «паровой пузырь», который является результатом мгновенного закипания. Пузырь выталкивает каплю чернил, частично выходит через сопло, частично «схлопывается». При этом камера опять заполняется жидкостью и готова к следующему нагреву. Технология подходит только для водных чернил и даёт возможность печати с высоким разрешением.

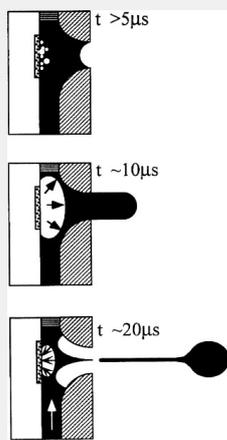


Рис. 8. Термический способ формирования «капли по требованию»

Акустический способ. При этом способе формирования капли используется энергия звуковых колебаний, полученных от электроакустического преобразователя.



Рис. 9. Импульс акустических колебаний в жидкости фокусируется на поверхности и приводит к отрыву капли, которая преодолевает поверхностное сопротивление.

» Некоторые особенности DOD печати

Электростатический (Matsushita Electric, NEC) и акустический (Xerox) способы имеют много патентов, но не получили практического использования, так как несколько «неудобны» для конструктивного исполнения.

Термический способ (Hewlett Packard, Canon, Xerox, Kodak, Olivetti, Lexmark...) и пьезоэлектрический (Siemens, Tektronix, Sharp, Epson, Dataproducts, Spectra, Haar, Nu-Kole, Brother, Philips...) получили широкое распространение в мире. Эти способы тоже не лишены своих сложностей и тонкостей в конструктивном исполнении и эксплуатации.

К примеру, вам не кажется, что процесс закипания чернил в термическом способе, приводящий к быстрому локальному повышению температуры и давления достаточно рискованный? Может быть перегреются чернила или, со временем, возникнет накипь? На самом деле, не эти, но похожие проблемы есть. Вот что пишет Kodak по этому вопросу: «В большинстве тепловых струйных принтеров, чернила, оставшиеся после формирования капли в сопле, втягиваются обратно на нагреватель с существенной силой, что приводит к износу микронагревателей печатающей головки с течением времени».

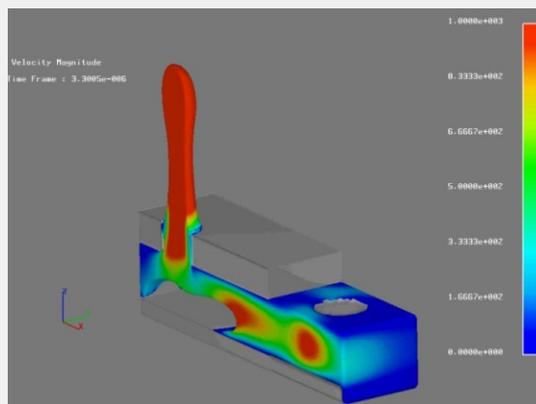


Рис. 10. Моделирование распределения температурных градиентов в микрокапсуле с чернилами при формировании капли.

В решении Kodak, пузырек пара уходит через отверстие сопла в атмосферу, поэтому практически отсутствует механический износ нагревателя. В результате, характеристики капели очень стабильны в течение длительного времени эксплуатации. С целью исключения погрешностей сборки головки, дюзы формируются с помощью процессов тонкопленочных технологий полупроводникового производства, и образуют монолитную структуру, которая позволяет выдерживать допуски, невозможные для традиционных многокомпонентных систем. Кроме того, дюзы делают из стекла, это дает возможность сформировать их очень четко и равномерно. В результате, ничего не изнашивается и качество печати остается неизменным.

Однако, некоторые технические тонкости и тепловых, и пьезоэлектрических струйных принтеров не имеют однозначного решения до настоящего времени. Например, сопла струйных печатающих головок рискуют засориться при длительном простое принтера.

» Применение струйных технологий

Первый струйный принтер был выпущен IBM в 1976 году как «периферийное устройство для печати текста на твердых носителях». Термическая технология drop-on-demand была изобретена специалистами Canon в 1979 году, когда один из исследователей случайно коснулся жалом паяльника кончика заполненного чернилами шприца. Это привело к выбросу жидкости и, таким образом, шприц с чернилами изменил курс исследований и последствий для Canon. Необходимо было еще 8 лет, чтобы появился первый термоструйный принтер.

Цифровая печать. Струйный принцип печати

Можно считать, что активно направление струйной печати развивается немногим более 40 лет. Но развитие шло такими бурными темпами, что в настоящее время этот вид печати используется чрезвычайно широко. Технология нашла применение не только в печати картинок и документов. Она работает во многих отраслях промышленности, причем иногда в совершенно неожиданных вариантах. Не говоря о печати на самых разнообразных материалах, технологию тонких струй жидкости можно найти в медицине, 3D струйной печати, электронной промышленности, оптике, электротехнике и других технологических направлениях. Зачастую некоторые детали струйного принтера изготавливаются с применением струйного принтера.

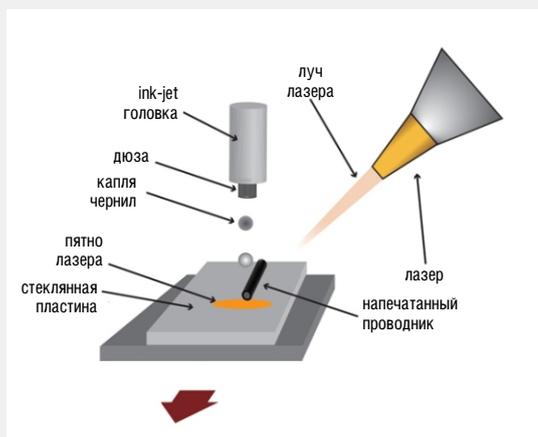


Рис. 11. Японский патент 2010 года. Нанотехнологии. Струйная технология с использованием CO₂ лазера. Сфера применения - оптика, электроника. Нанесение токопроводящих линий. Облучение лазером сразу после падения капли на подложку значительно ускоряет процесс высыхания или полимеризации.

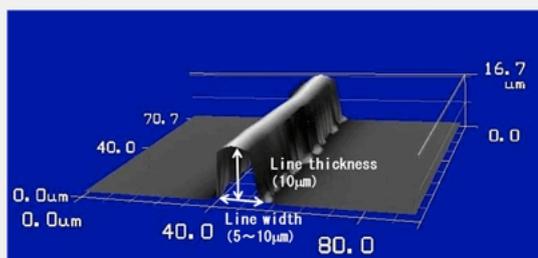


Рис. 12. LIJ (Laser Ink Jet) технология. Размеры проводника напечатанного струйным принтером. Многослойное нанесение капель с моментальным отверждением лазером. Размеры полученного проводника в высоту больше, чем в ширину.

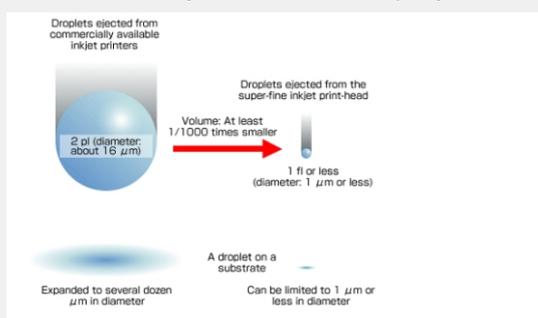


Рис. 13. Сравнение размеров капли при использовании нанотехнологий.

Корпорация SIJ Technology, Inc занимается совместно с фирмой AIST and Harima Chemical в объеме НИОКР изучением различных веществ в супертонкой струйной технологии. С помощью этой новой технологии, команда подтвердила, что различные материалы и элементы, такие как нанотрубки, электропроводящие полимеры и керамика могут быть созданы из веществ, используемых как растворы для чернил. В то же время, тесты показали устойчивую дисперсию частиц металла на разнообразных субстратах, таких как стекло или полиимид. Этот результат показывает, что можно сразу печатать сверхтонкие металлические проводники лишь несколько микрон в ширину для многослойных печатных плат.

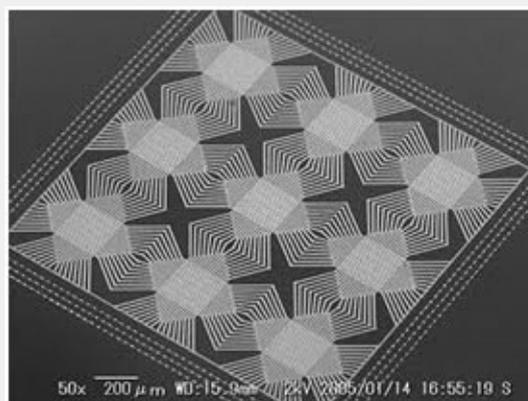


Фото 3. "Узор" из сверхтонких проводников, полученных SIJ технологией.

Интересный аспект применительно к металлам состоит в том, что для частиц меньше 20 нм в диаметре, эффективная температура плавления резко снижается. Например, температура плавления супертонкой серебряной частицы может быть на уровне комнатной температуры, в то время как микронных размеров частица серебра плавится при 961°C.

Таким образом, использование этих наноразмерных частиц в качестве чернил для струйного принтера, позволяет печатать безмасочные узоры с шириной линии в несколько микрон, что сравнимо с методами фотолитографии, но при комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении.

» Иллюстрации к ink-jet технологиям

Несколько иллюстраций к струйной технологии

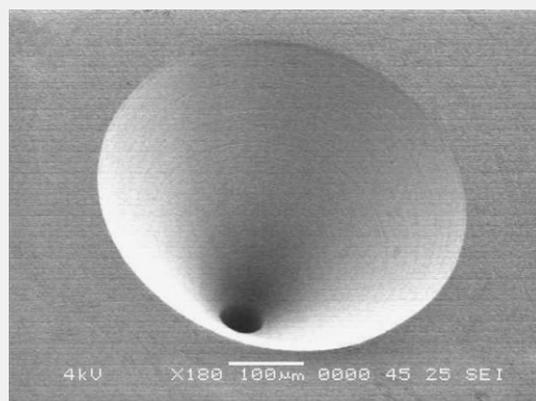


Фото 4. Керамическая Inkjet дюза

Цифровая печать. Струйный принцип печати

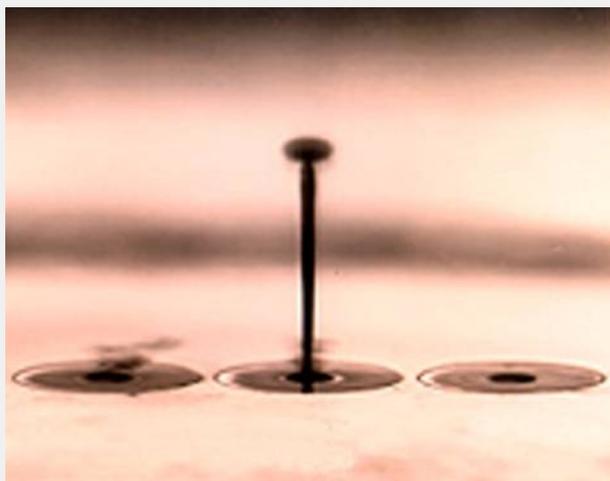


Фото 5. Капля по требованию

Фотографии 6 и 7 сделаны доктором Steve Hoath, в ходе серии экспериментов в Кембридже - на технологическом факультете научно-исследовательского центра исследования производительности струйных принтеров. Фото сделано Nikon D70 с Navitar зум макро-объективом и очень короткой вспышкой длительностью 20 нс.

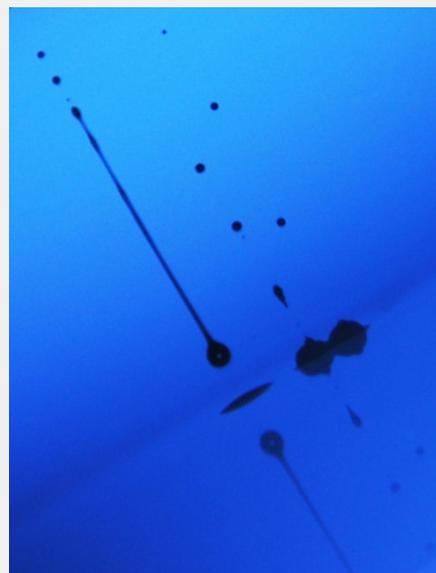


Фото 6. «Момент отражения»

Фото показывает падение каплей с высоты печатающей головки. Капли только что ударили или вот-вот ударятся о поверхность стекла, в которой они отражаются.

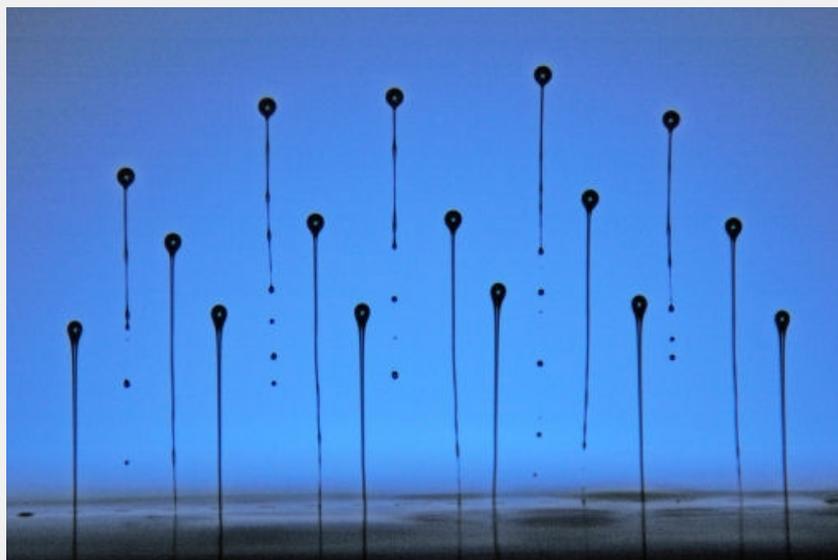


Фото 7. «Хвосты из банка дюз».

Видны капли чернил, выходящих из банка струйных сопел (они видны на нижней части изображения). Изображение составляет около 2,3 мм в поперечнике, головки каплей 50 микрон в поперечнике и хвосты менее 10 мкм в ширину (в 10 раз тоньше человеческого волоса). Капли движутся со скоростью около 6 м / с, следовательно, необходима очень короткая вспышка, чтобы остановить движение. Капли выпущены тремя группами с разным временем старта. В некоторых случаях капли все еще привязаны к форсункам длинными связками растянутой жидкости. Другие капли разделились и образовали более мелкие "спутники", движущиеся с разорванными связками. Это изображение откорректировано по яркости и контрастности и повернуто для большего эффекта.

Фотография «Хвосты из банка дюз» - победитель конкурса «Epson Photography Competition 2006». Доктор Стив получил первый приз - принтер Epson.

Дополнительные материалы к статье - динамические иллюстрации к струйным процессам - можно посмотреть по ссылке:

<http://39print.ru/inkjet.html>

Статью подготовил: Е.Чмель

В статье использованы материалы с сайтов:

www.cnews.ru, <http://www.flickr.com>,
<http://www.inkjetconsulting.com/>, <http://www.aist.go.jp>,
<http://nanopatentsandinnoventions.blogspot.com>