

МИКРОФЛЮИДНЫЕ МОДУЛИ: ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА

А.Нисан edu@ostec-group.ru

Одно из перспективных направлений развития МЭМС – лаборатории на чипе (lab-on-a-chip). Их основой являются так называемые микрофлюидные (от микрофлюидика – наука, описывающая поведение малых, порядка микро- и нанолитра, объемов жидкостей) модули, в которых происходит управление микро-, нано- и даже пиколитровыми объемами жидкостей: подготовка проб, транспортировка, смешивание, разделение, детектирование, дозирование и другие операции. Применение микрофлюидных модулей в медицине, биологии, фармацевтике, промышленности и других областях открывает новые возможности по существенному снижению стоимости, сложности и сроков проведения анализов, исследований, контроля.

Первый микрофлюидный модуль – хроматографическая колонка – был изготовлен в Стэнфордском университете в 70-х годах прошлого столетия. В 1990-х годах появились концепции

миниатюрных аналитических платформ, направленные на повышение производительности и снижение стоимости анализа.

Преимущества и недостатки микрофлюидных модулей обусловлены их существенно

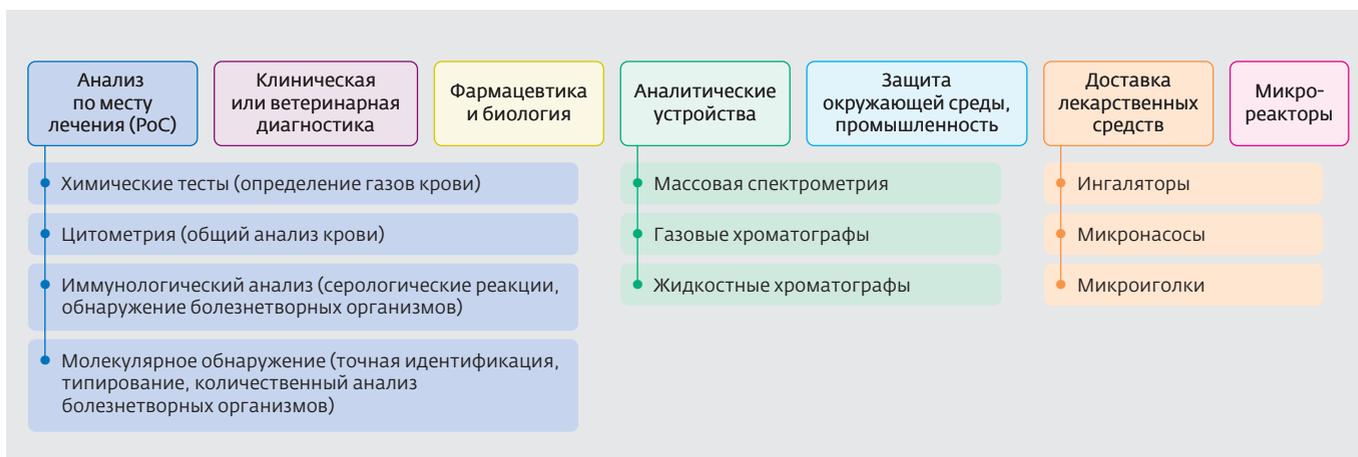


Рис.1. Перспективные области применения микрофлюидных устройств



Рис.2. Тестер Т-лимфоцитов и одноразовый картридж на основе микрофлюидного модуля. Источник: Alere (www.alere.com)

меньшими размерами по сравнению с традиционными устройствами с аналогичными функциями. Выделяют следующие преимущества микрофлюидных модулей:

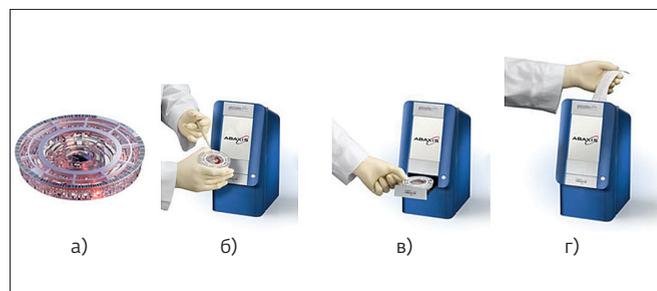


Рис.3. Диск на основе микрофлюидного модуля для биохимического анализатора крови (а) и процесс проведения анализа (б–г). Источник: Abaxis (www.abaxis.com)

- малый объем образца и низкий расход реагентов;
- высокая точность управления смешиванием и нагревом/охлаждением жидкостей;
- быстрая передача тепла благодаря высокому значению отношения площади поверхности к объему;
- высокая точность и повторяемость результатов;
- высокая чувствительность;
- уменьшение длительности и снижение стоимости анализа, исследования;
- широкие возможности интеграции различных компонентов (в том числе оптических и электронных) в одном устройстве;
- меньшие габариты и масса устройств;
- более высокая безопасность.

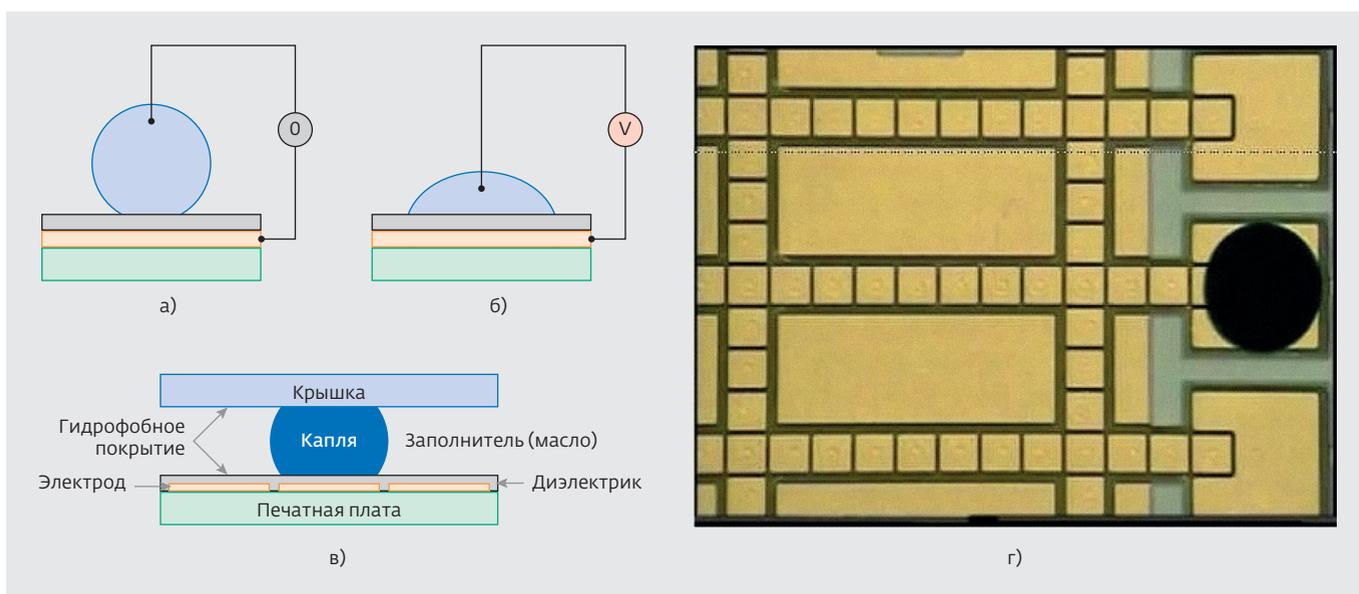


Рис.4. Принцип работы (а–в) и фрагмент внешнего вида (г) "цифрового" микрофлюидного устройства. Источник: Advanced Liquid Logic (www.liquid-logic.com)

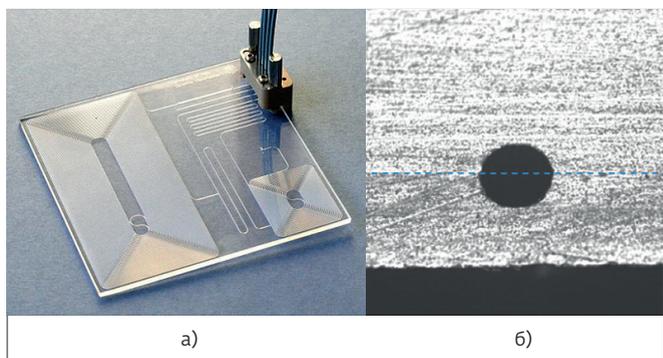


Рис.5. Хроматографическая колонка: внешний вид (а) и сечение канала диаметром 320 мкм (б). Размеры подложки 100×100 мм. Источник: Dolomite (www.dolomite-microfluidics.com)

Вместе с тем, микрофлюидным модулям присущ ряд недостатков:

- из-за малых размеров модулей на результаты исследований существенно влияют паразитные физические и химические явления (связанные с капиллярными силами, шероховатостью поверхности, химическими реакциями между жидкостями и материалом модуля);
- применение "стандартных" методов детектирования к малым объемам может приводить к низкому отношению сигнал/шум;

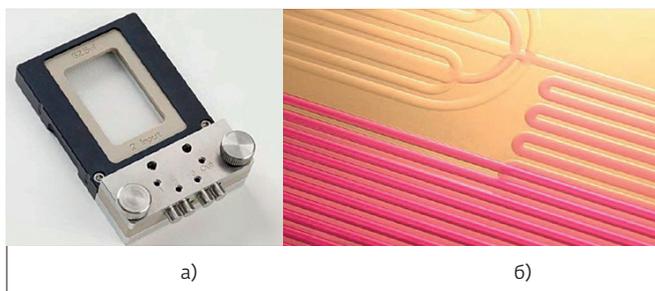


Рис.6. Микрореактор для смешивания и проведения реакций: внешний вид (а); смешивание двух жидкостей (б). Размер микрофлюидного модуля 28×90 мм. Источник: Dolomite (www.dolomite-microfluidics.com)

- хотя в абсолютном значении погрешности изготовления малы, в относительном значении они хуже, чем в точном машиностроении. Рассмотрим области применения и технологии изготовления микрофлюидных модулей.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Микрофлюидные устройства могут применяться в самых разных областях (рис.1) (в приведенную классификацию не включены печатающие головки для струйных принтеров, так как это отдельное, уже давно развивающееся направление). Приведем несколько типичных примеров микрофлюидных модулей.

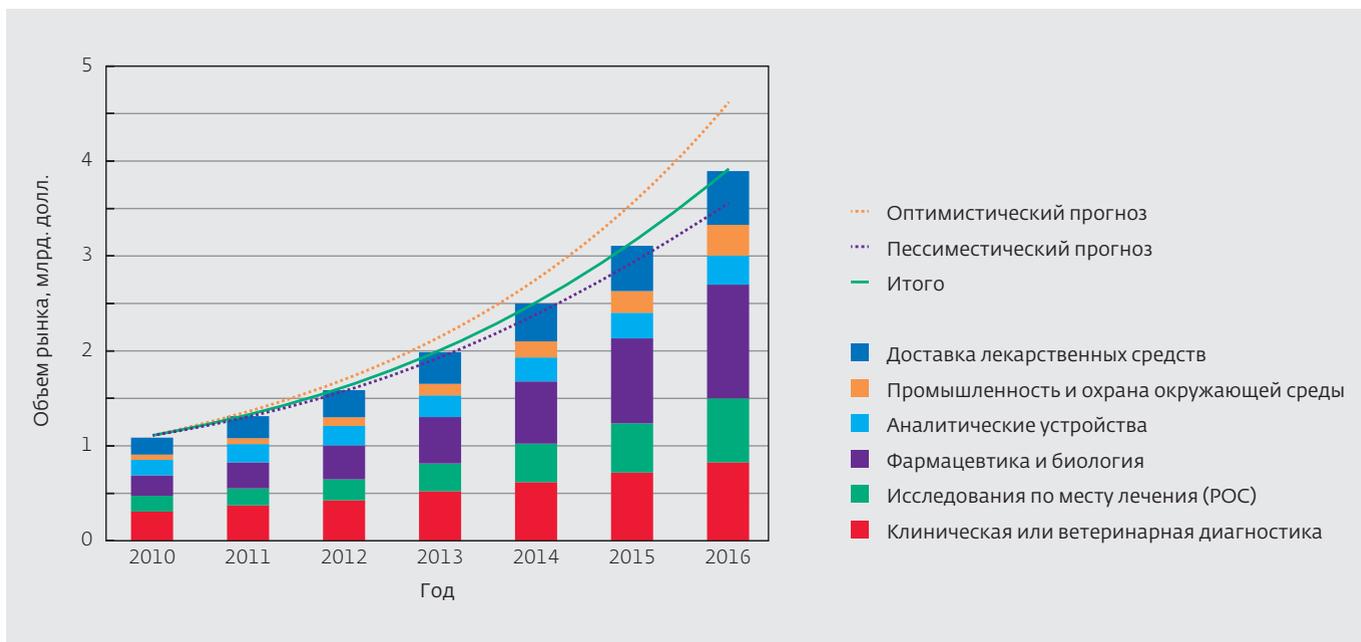


Рис.7. Оценка мирового рынка микрофлюидных устройств. Источник: Yole Développement. Emerging Markets for Microfluidic Application (2011)

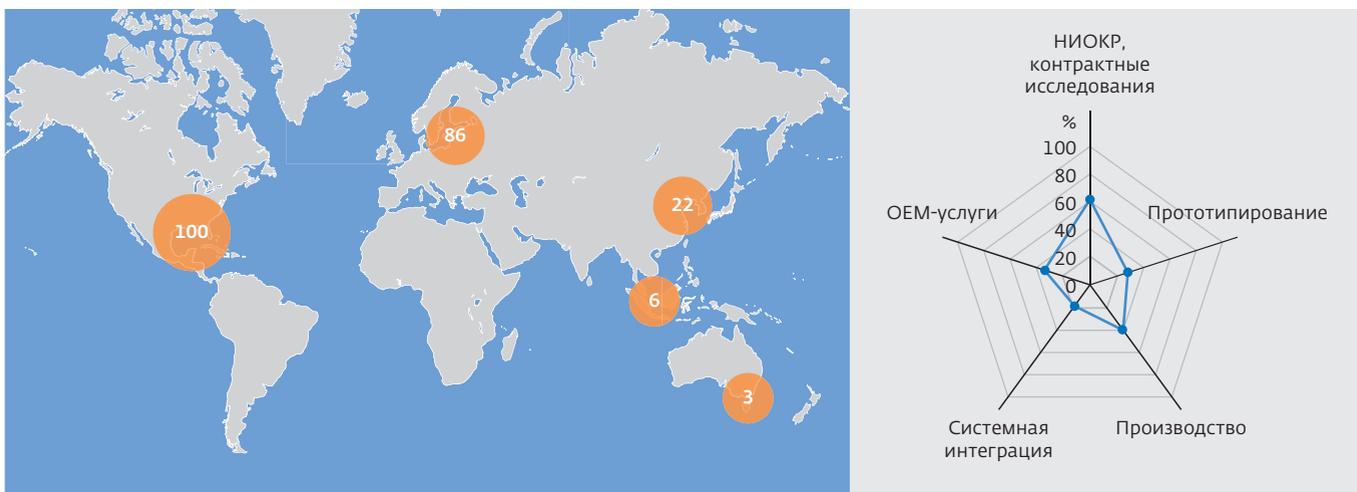


Рис.8. Распределение организаций, работающих в области микрофлюидных модулей. Цифры в кружках – число организаций. Источник: Yole Développement. Microfluidic Substrate Market & Processing Trends (2012)

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 2011 году в мире насчитывалось 34 млн. ВИЧ-инфицированных людей, причем 2,5 млн. из них было инфицировано в 2011 году. Для мониторинга иммунодепрессии, вызванной ВИЧ, и определения начала противоретровирусной терапии необходимо знать точное количество Т-лимфоцитов (CD4+) в крови. По данным ВОЗ противоретровирусную терапию получают лишь 56% тех, кому она жизненно необходима. Сделать мониторинг иммунодепрессии дешевле и доступнее могут портативные

тестеры Т-лимфоцитов, не требующие специальных лабораторных условий для проведения анализа, ручной подготовки образца, особых условий хранения реагентов (рис.2). Образец капиллярной крови в количестве 0,025 мл забирается с помощью одноразового картриджа на основе микрофлюидного модуля, содержащего все необходимые реагенты. Картридж устанавливается в тестер, который через 20 мин выдает результаты измерений.

Еще один пример применения микрофлюидных модулей в области устройств для

Таблица 1. Сравнение параметров микрофлюидных устройств из полимеров и стекла. Источник: Dolomite (www.dolomite-microfluidics.com)

Параметр	Полимеры	Стекло
	Оценка параметра	
Оптические свойства	Хорошие	Отличные
Механические свойства	Удовлетворительные	Очень хорошие
Химическая стойкость	Неудовлетворительная (в большинстве случаев)	Отличная
Температурные свойства	Неудовлетворительные	Очень хорошие
Эффективность затрат	Неудовлетворительная – для прототипирования, отличная – для крупносерийного производства	Отличная – для прототипирования, удовлетворительная – для крупносерийного производства
Повторное использование	Как правило, одноразовые	Очень хорошее
Срок службы	Удовлетворительный	Очень хороший

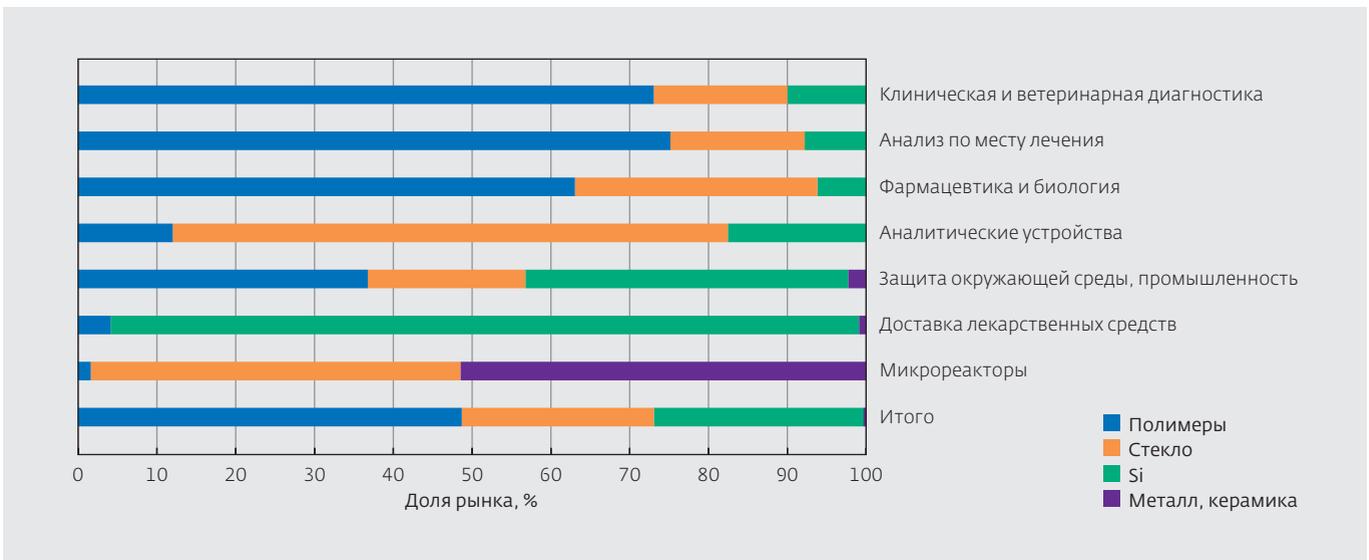


Рис.9. Распределение рынка микрофлюидных модулей для перспективных областей применения по материалам основания. Источник: Yole Développement. Microfluidic Substrate Market & Processing Trends (2012)

анализов по месту лечения – биохимический анализатор крови (рис.3). Образец крови в количестве 0,1 мл помещается в микрофлюидный модуль, размещенный на диске, диск устанавливается в анализатор, который через 12 мин выдает результаты анализа. Под разные виды анализов разработаны специальные диски, а всего устройство способно выполнить

24 вида анализов крови, включая анализы на ферменты печени, липиды, глюкозу.

Активно развивается направление "цифровых" микрофлюидных модулей, основанных на эффекте электросмачивания (рис.4). Его суть в том, что угол смачивания электролитом поверхности зависит от электрического напряжения между ними. При отсутствии напря-

жения на электроде капля водного раствора не смачивает гидрофобное покрытие, а при приложении напряжения к электроду – смачивает. "Цифровой" микрофлюидный модуль состоит из матрицы электродов, в которой для перемещения капли напряжение снимается с текущего электрода и прикладывается к следующему. Такие модули могут применяться в клинической диагностике и молекулярной биологии для исследования белков, секвенирования ДНК, количественного анализа ДНК и РНК, подготовки образцов.

Примером использования микрофлюидных модулей в аналитических



Рис.10. Классификация технологий, применяемых для изготовления микрофлюидных модулей. Источник: Yole Développement. Microfluidic Substrate Market & Processing Trends (2012)

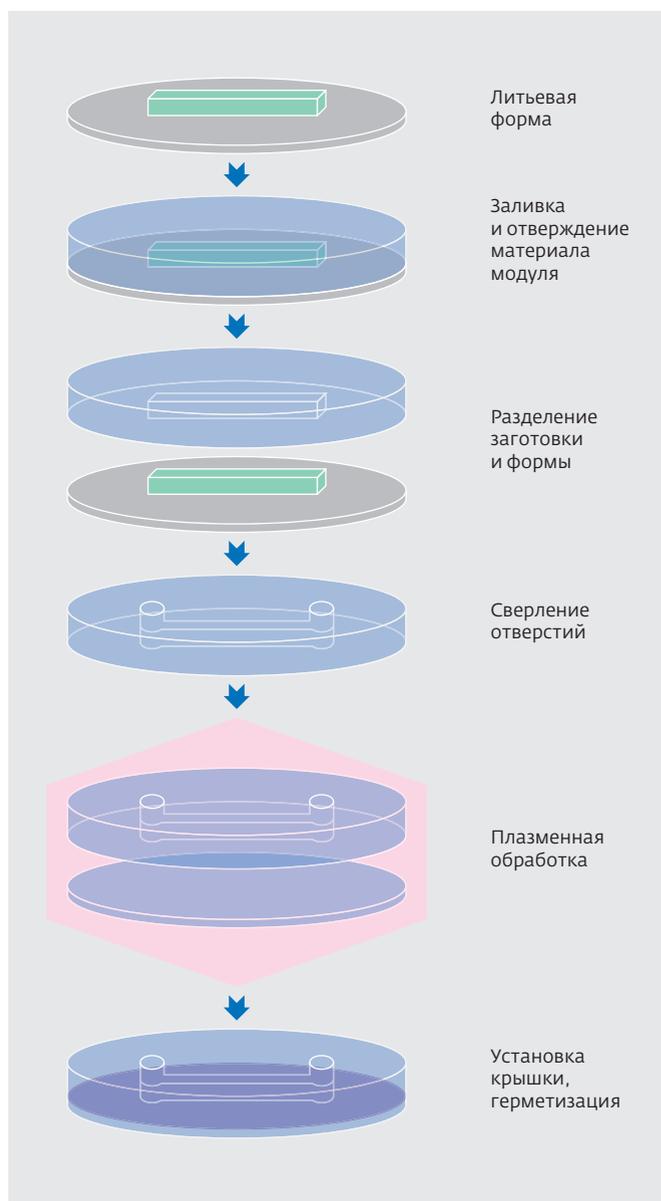


Рис.11. Схема процесса микролитья. Источник: Elveflow (www.elveflow.com)

устройствах могут служить колонки для газовой хроматографии, проходя через которые исследуемый газ разделяется на компоненты, затем поступающие на детектор. Хроматографическая колонка состоит из двух стеклянных пластин (рис.5). В них вытравливали каналы с сечением в форме полукруга, в одной из пластин сверлили отверстия для подачи газа, после чего пластины диффузионно соединяли без использования клея. Такие хроматографические колонки могут применяться для оперативного контроля состояния окружающей среды.

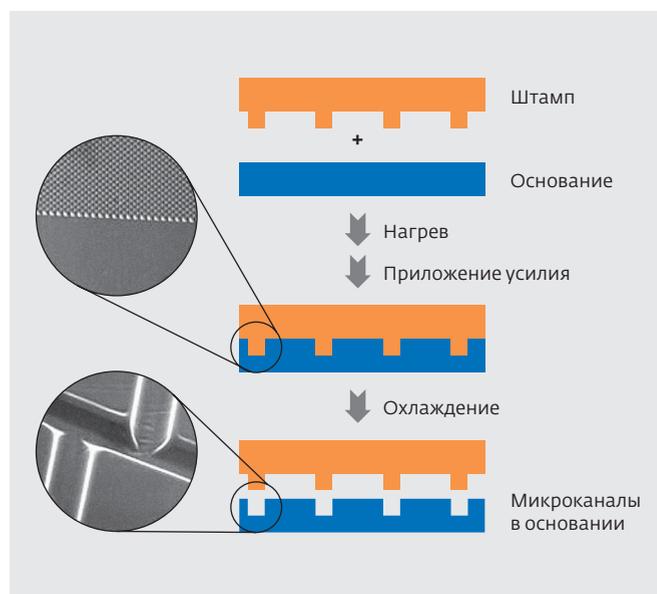


Рис.12. Схема процесса горячей штамповки. Источник: The Oleschuk Group (www.chem.queensu.ca/people/faculty/oleschuk/research.html)

Микрофлюидные модули используются также в химии в качестве микрореакторов, например, для синтеза веществ или изучения кинетики реакций. Выпускаются стандартные микрореакторы из стекла с объемом реакционной зоны 62,5 мкл, 250 мкл, 1 мл, длиной каналов 1,8-2,5 м, выдерживающие давление до 30 бар и рабочую температуру до 150°C (рис.6).

Мировой рынок микрофлюидных модулей в последние годы активно растет (рис.7). Прогнозируется, что с 2010 по 2016 год объем рынка увеличится примерно в четыре раза и составит порядка 4 млрд. долл. Почти половина организаций, активно работающих в области микрофлюидных модулей,

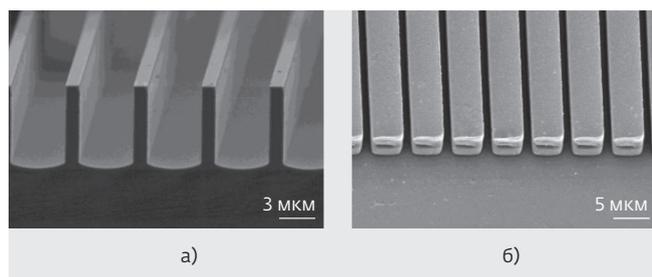


Рис.13. Кремниевый штамп (а) и полученные с его помощью каналы микрофлюидного модуля шириной 800 нм и глубиной 5–8 мкм (б)

10-я Юбилейная выставка – Aerospace Testing Russia



22–24 октября 2013 года
Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Aerospace Testing Russia - единственная в Европе и России
выставка испытательного оборудования
для авиационно-космической промышленности

Станьте успешнее, равняйтесь на ведущих мировых разработчиков
и производителей испытательного и контрольно-измерительного оборудования!



Совместно
с международной выставкой
«Промышленная диагностика
и контроль
Industrial Testing&Control»

www.aerospace-expo.ru

Организатор:



ITE Москва
+7 (495) 935 7350
aero@ite-expo.ru

При поддержке:



Министерство
промышленности
и торговли РФ



Федеральное
космическое
агентство

Таблица 2. Зависимость характеристик микрофлюидных модулей от технологии изготовления вставки в литьевую форму или штампа

Объект	Характеристика	Усредненные значения							
		Металл	Кремний				Металл или полимер		
Вставки в формы/штампы	Материал основания	Металл	Кремний				Металл или полимер		
	Способ изготовления вставки или штампа	Фотолитография				Реактивное ионное травление	Микрофрезерование и лазерная абляция		
	Метод	1	2а	2б	3а	3б	4а	4б	4в
Микрофлюидные модули	Геометрия	2,5D	2,5D	2,5D	2,5D	2,5D	3D	3D	3D
	Точность по XY/Z, мкм	2/1-5	2/1-5	2/1-5	5/1-5	5/1-5	1-10 ³ /3-10	1-20 ³ /3-10	1-10 ³ /3-10
	Мин. ширина канала, мкм	5	5	5	10 ²)	10 ²)	20-200	20-200	20-200
	Макс. глубина канала, мкм	200	200	200	500	500	Любая ⁴)	Любая ⁴)	Любая ⁴)
	Макс. отношение глубины к ширине канала	20	20	20	10	10	7,5	7,5	7,5
	Наклон стенок, диапазон/точность, °	- ¹)/1-5	- ¹)/1-5	- ¹)/1-5	0-20/ 1-2	0-20/ 1-2	0-90/ 0,3	0-90/ 0,3	0-90/ 0,3

¹) Значение определяется технологией травления.

²) С использованием реактивного ионного травления были получены образцы и с меньшей шириной канала (см., например, рис.13).

³) Значение сильно зависит от типа материала и структуры (выступы или углубления).

⁴) Значение зависит от диаметра фрезы.

После извлечения заготовки из литьевой формы в ней сверлятся или пробиваются отверстия под трубки для подачи и отвода жидкостей или газов. Затем сторона заготовки с микроканалами и стеклянная крышка подвергаются плазменной обработке и соединяются, герметизируя микроканалы.

Горячая штамповка. В этой технологии штамп и основание из полимера, в котором необходимо сформировать каналы, нагреваются до температуры, близкой к температуре стеклования полимера (рис.12). Штамп прижимается к основанию с усилием от нескольких ньютонов до нескольких килоньютонов, в зависимости от материала основания и формируемого рисунка. Дальше,

как и в технологии микролитья, делаются отверстия и проводится герметизация каналов. Как правило, в качестве оснований используются полиметилметакрилат, циклоолефиновый сополимер и поликарбонат. Для формирования каналов субмикронной ширины могут применяться штампы, изготовленные из кремния методом глубокого реактивного ионного травления (рис.13) [1].

Изготовление вставок в литьевые формы и штампов. Метод 1. На предварительно очищенный металлический диск наносится центрифугированием толстый фоторезист, экспонируется через фотошаблон УФ-излучением и проявляется (рис.14) [2]. После этого проводится активация

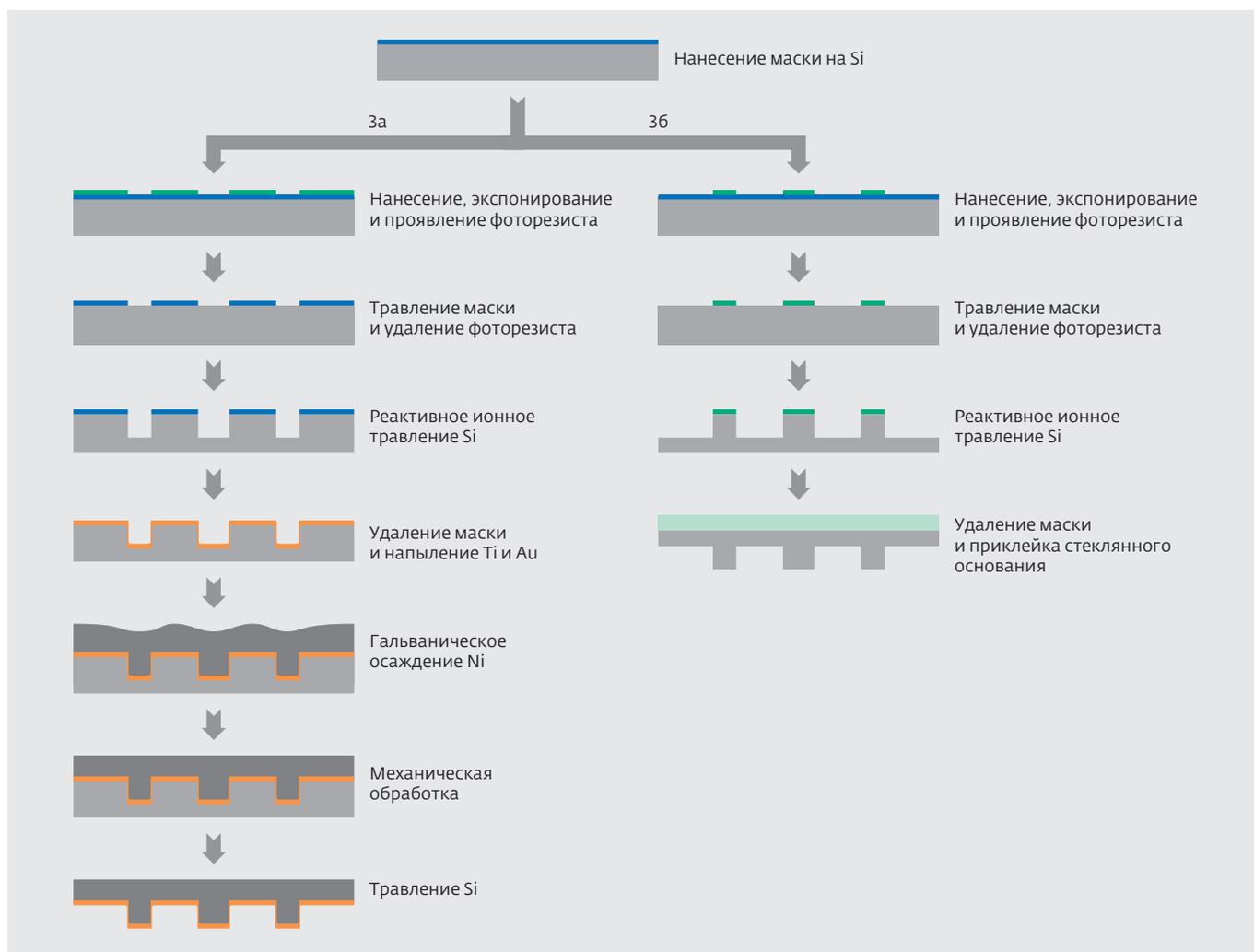


Рис.16. Изготовление вставок в литьевые формы и штампов. Метод 3

открытой поверхности металла для удаления остатков фоторезиста и оксидного слоя. Затем в гальванической ванне осаждается никель до толщины чуть меньше, чем у фоторезиста. В конце фоторезист снимается.

Метод 2. На предварительно очищенную, оксидированную кремниевую пластину напыляется конденсацией из паровой фазы 5-нанометровый слой титана или хрома, а поверх него – 50-нанометровый слой золота (рис.15) [2]. На следующей операции центрифугированием наносится толстый фоторезист, экспонируется в УФ-излучении и проявляется. Затем выполняется плазменная очистка, после которой возможны два варианта. В варианте 2а проводится гальваническое осаждение никеля до толщины чуть меньше, чем у фоторезиста. Для придания проводящих свойств верхней поверхности на нее последовательно напыляется титан/золото или хром/золото.

После этого продолжается гальваническое осаждение никеля до толщины 2–3 мм. В завершение поверхность никеля обрабатывается до нужной шероховатости, стравливаются кремний и золото, удаляется фоторезист. В варианте 2б гальваническое осаждение никеля просто не прерывается при заполнении свободных от фоторезиста участков, а проводится до образования сплошного слоя толщиной 2–3 мм.

Метод 3. В отличие от рассмотренных выше методов этот метод основан на субтрактивной микрообработке поверхности при помощи реактивного ионного травления (рис.16) [2]. Рисунок формируется УФ-литографией с использованием тонкого фоторезиста, также наносимого центрифугированием, и последующим травлением материала маски (как правило, оксида или нитрида кремния). Принципиальное различие двух вариантов реализации этого метода в том, что в варианте 2б

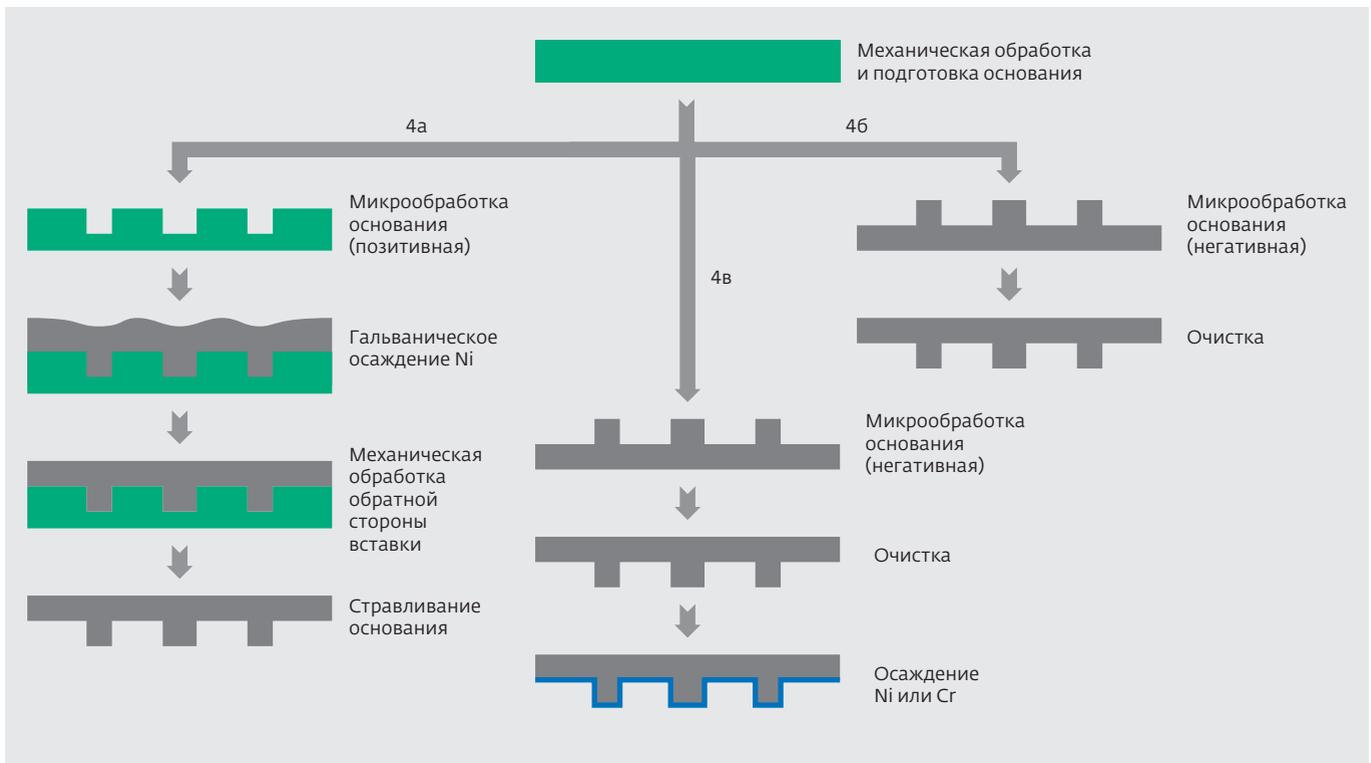


Рис.17. Изготовление вставок в литьевые формы и штампов. Метод 4

формообразующие выступы штампа выполняются из кремния, в то время как в варианте 3а кремниевая пластина используется лишь для формирования выступов из никеля.

Метод 4. В этом методе необходимые формообразующие выступы формируются микрообработкой поверхности: фрезерованием, лазерной абляцией или электроэрозионной обработкой (рис.17) [2]. В варианте 4а микрообработкой из полимера или мягкого металла создается шаблон для гальванического осаждения никеля. Если основание изготовлено из непроводящего материала, то перед осаждением никеля выполняется химическая активация поверхности или напыление подслоя металла. В варианте 4б формообразующие выступы изготавливаются непосредственно микрообработкой, после которой требуется только очистка и полировка. Вариант 4в отличается от 4б осаждением меди, никеля или хрома для увеличения износостойкости.

Формы и штампы, получаемые разными методами, накладывают те или иные ограничения на характеристики изготавливаемых с их помощью микрофлюидных модулей (табл.2) [2]. Так, несмотря на высокую точность размеров и положения структур, обеспечиваемую тремя первыми методами, их возможности в части получаемых

сечений каналов микрофлюидных модулей (формообразующих выступов вставок в литьевые формы и штампов) сильно ограничены близкими к прямоугольнику формами. Метод 4 позволяет получить каналы с переменным углом наклона стенок, но не обеспечивает высокую точность и минимальные размеры структур, характерные для методов 1-3.

Фотолитография

Фотолитография используется для изготовления микрофлюидных модулей из стекла (рис.18). На предварительно очищенную стеклянную пластину наносятся хром и фоторезист. Фоторезист экспонируется в УФ-излучении через фотошаблон и проявляется. Травление стекла выполняется плавиковой кислотой. После удаления хрома и фоторезиста в пластине сверлятся отверстия для подведения жидкостей или газов в будущем микрофлюидном модуле. На следующем этапе пластины разделяются на отдельные модули, которые затем герметизируются крышками.

"Мягкая" литография (микропечать)

В одной из реализаций этого метода (рис.19а) [3] маска из 1-гексадекантиола наносится на штамп, а затем переводится с него на стеклянное



XIX Международный ФОРУМ® Технологии Безопасности



**ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ
ССТV, IP-РЕШЕНИЯ
ИНТЕГРИРОВАННЫЕ
СИСТЕМЫ**



**АНТИТЕРРОР
ОХРАНА ГРАНИЦЫ
БЕЗОПАСНОСТЬ
НА ТРАНСПОРТЕ**

**КОНТРОЛЬ ДОСТУПА
ОХРАНА ПЕРИМЕТРА
ОХРАННО-ПОЖАРНАЯ
СИГНАЛИЗАЦИЯ**



**ЗАЩИТА СВЯЗИ
И ИНФОРМАЦИИ
БИОМЕТРИЯ
СПЕЦТЕХНИКА**



**ПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА
ПОЖАРОТУШЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ
И ОХРАНА ТРУДА**

11-14.02.2014

КРОКУС ЭКСПО / МОСКВА

КОНФЕРЕНЦИИ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ САММИТЫ ПРИ УЧАСТИИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ФЕДЕРАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ, ЭКСПЕРТЫ МИРОВОГО КЛАССА НА ТЕХНИЧЕСКИХ МАСТЕР-КЛАССАХ, НОВЫЕ СИСТЕМЫ И РЕШЕНИЯ В ДЕМО-ЗОНАХ, СЕМИНАРЫ И ПРЕЗЕНТАЦИИ НА СТЕНДАХ ВЕДУЩИХ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ И РЕШЕНИЙ, КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭКСПОЗИЦИИ ФСТЭК РОССИИ И ФСБ РОССИИ

БЕСПЛАТНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ НА WWW.TBFORUM.RU



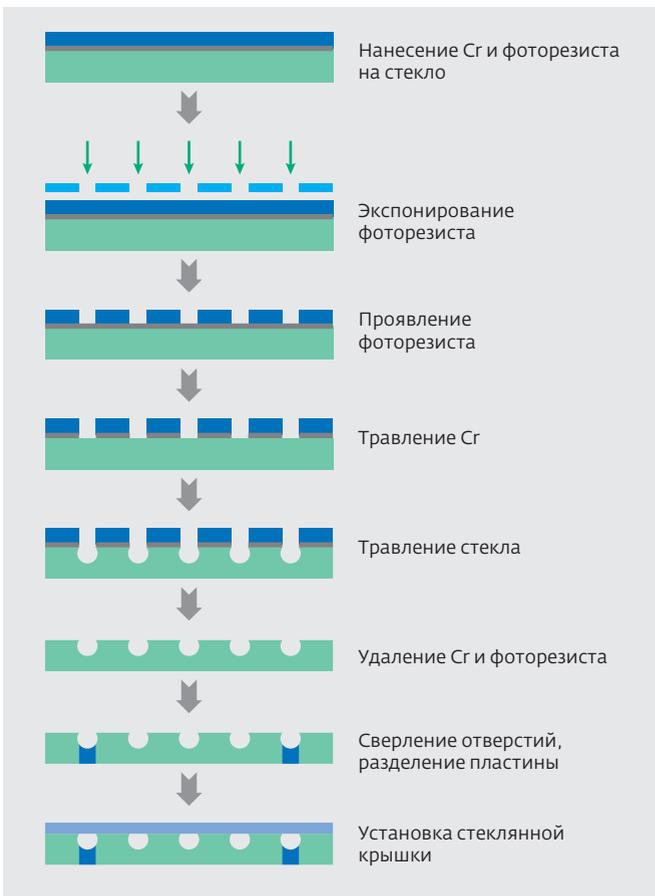


Рис.18. Схема процесса изготовления микрофлюидных модулей фотолитографией. Источник: Dolomite (www.dolomite-microfluidics.com)

основание с предварительно осажденным 100-нанометровым слоем золота по 10-нанометровому подслою хрома. После отделения штампа проводится травление золота и хрома в водном растворе на основе феррицианида при температуре 60°C в течение 2-5 мин. Затем выполняется удаление 1-гексадекантиола.

В другом варианте этого метода (рис.19б) на поверхности стекла формируется токопроводящий рисунок из палладия, на который химически осаждается медь. Для этого частицы палладия со средним диаметром несколько нанометров смешиваются с толуолом (1,5 г/л) и наносятся на штамп, с которого затем переводятся на стеклянное основание.

Микропечать может использоваться для изготовления "цифровых" микрофлюидных устройств, в которых необходим токопроводящий рисунок для управления отдельными каплями жидкостей.

Встраивание кристаллов в микрофлюидные модули

Перед встраиванием кристалла на его обратной и боковых сторонах необходимо сформировать слой полимера (рис.20) [4]. Для этого кристалл размещается на пластине активной стороной вниз, подается небольшое давление (порядка 35 кПа) для удержания его на пластине, а затем он заливается преполимером полидиметилсилоксана, который отверждается при температуре 80°C в течение 30 мин. Далее кристалл

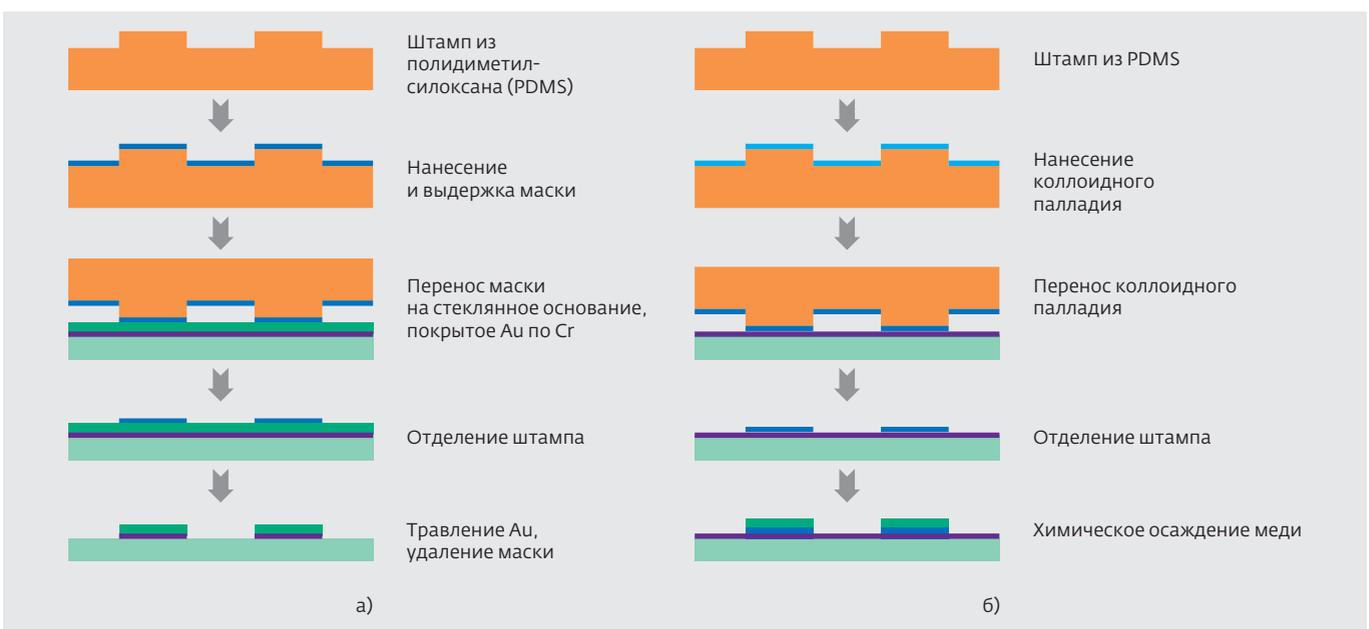


Рис.19. Схема процесса "мягкой" литографии (микропечати)

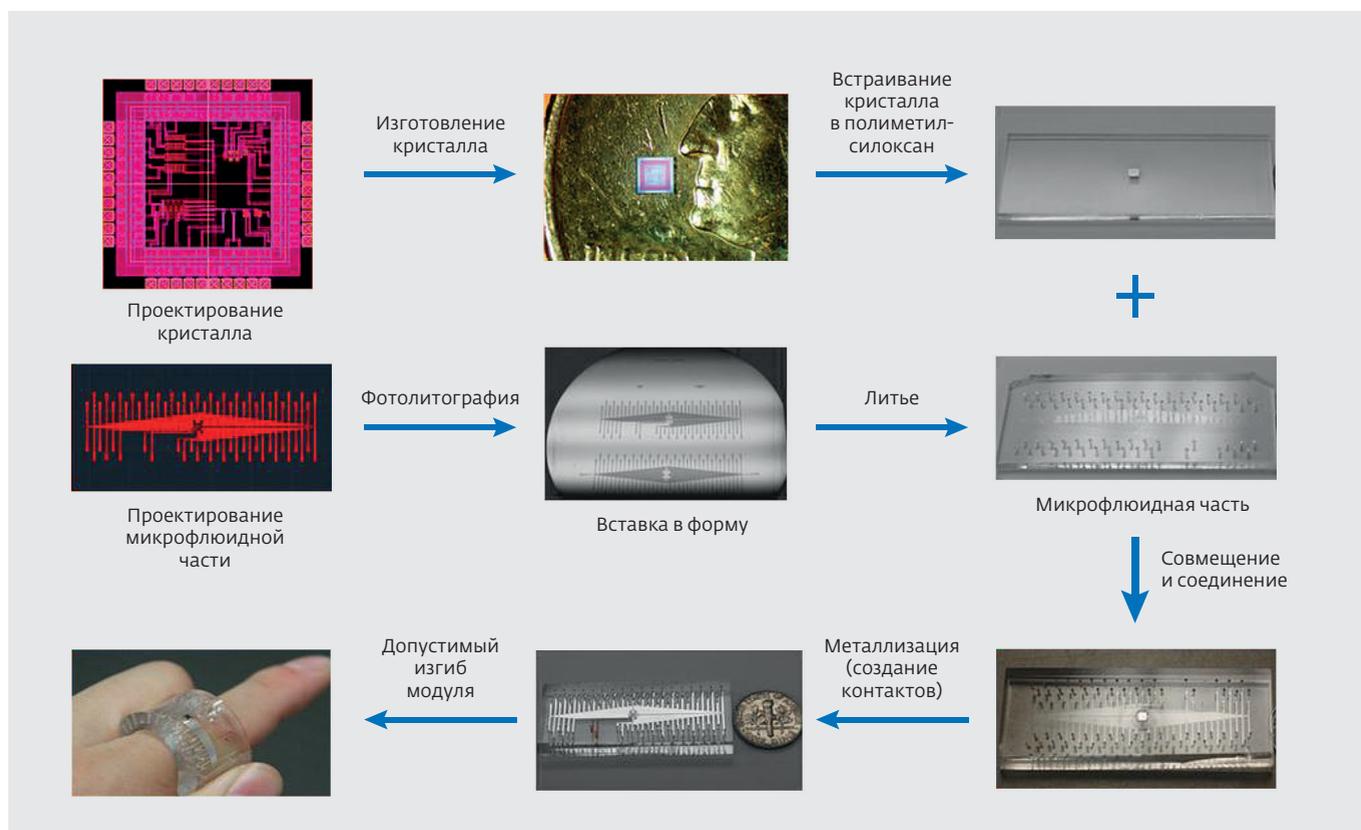


Рис.20. Схема процесса встраивания кристалла в микрофлюидный модуль

с полидиметилсилоксаном отделяется от пластины и подвергается плазменной обработке, как и микрофлюидный слой. Микрофлюидный слой и слой с кристаллом совмещаются и соединяются. После этого для формирования электрических соединений микрофлюидного модуля с кристаллом в определенные каналы заливается сплав галлия, индия и олова, находящийся в жидком состоянии при комнатной температуре.

В заключение можно сказать, что широкое внедрение устройств на основе микрофлюидных модулей способно существенно повысить качество жизни. Так, использование микрофлюидных устройств для анализа крови позволяет оперативно проводить исследования вне лабораторий, делая медицинскую помощь доступнее и качественнее в малых населенных пунктах, а также в развивающихся странах.

На рынке уже присутствуют десятки компаний, серийно выпускающих микрофлюидные модули. Больше ста исследовательских центров, университетов, институтов ведут работу

в области микрофлюидных модулей, что позволяет надеяться на скорое широкое внедрение этой технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Becker H., Dietz W., Dannberg P.** Microfluidic manifolds by polymer hot embossing for μ -tas applications. – Proceedings of Micro Total Analysis Systems. D.J. Harrison, A. van den Berg (Eds.), Kluwer, 1998, p.253–256.
2. **Bissacco G., Hansen H.N., Tang P.T., Fugl J.** Precision manufacturing methods of inserts for injection molding of microfluidic systems. – www.aspe.net/publications/Spring_2005/05SPAbs/Bissacco-1676.pdf
3. **Watson M.W.L., Abdelgawad M., Ye G. et al.** Microcontact Printing-Based Fabrication of Digital Microfluidic Devices. – Analytical Chemistry, v.78, №22, p.7877–7885 (web.cecs.pdx.edu/~prasads/Soft%20Litho-Problem2.pdf)
4. **Zhang B., Dong Q., Korman C.E. et al.** Flexible packaging of solid-state integrated circuit chips with elastomeric microfluidics. – www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3551231/

МЭМС для спорта

Микроэлектронные сенсорные системы все чаще появляются в самых амбициозных проектах. Сегодня их можно найти в системах оценки спортивных результатов либо носимых спортсменом, либо находящихся в спортивном инвентаре. К таким системам относится созданная компанией Full Flight Technology (занимается разработкой современных измерительных систем для оценки результатов стрельбы из лука) баллистическая система Velocitip, в которой использован акселерометр ADXL346 компании Analog Devices.

ADXL346 – миниатюрный, тонкий трехосевой МЭМС-акселерометр с крайне низким энергопотреблением (потребляемый ток в режиме измерения 23 мкА и 0,2 мкА в режиме ожидания, типичное значения напряжения – 2,6 В), высоким разрешением (13 бит) и диапазоном измерения до $\pm 16g$. Результаты измерения представляются в виде 16-разрядных чисел и доступны через интерфейс SPI (трех- или четырехпроводной) или I2C. Прибор способен измерять статическое ускорение, вызванное гравитацией, в задачах определения отклонения изучаемого объекта, а также динамическое ускорение, вызванное

движением или ударами. Высокое разрешение ADXL346 (4-10-3 г/МЗБ) позволяет измерять изменения отклонения менее чем на $1,0^\circ$. Блок детектирования активности и неактивности позволяет обнаруживать наличие или отсутствие движения, сравнивая ускорение по любой из осей с заданным пользователем уровнем. Детектор касаний обнаруживает однократные и двойные касания в любом из направлений. Детектор свободного падения определяет, находится ли устройство в состоянии падения. Блок измерения ориентации способен одновременно производить измерение ориентации движения в четырех (2D) или шести (3D) направлениях и формировать прерывание при изменении ориентации. Интегрированная система управления памятью с буфером FIFO на 32 элемента может быть использована для хранения данных в целях минимизации вмешательства со стороны хост-процессора и снижения общей потребляемой системой мощности. ADXL346 выпускается в компактном, тонком 16-контактном пластиковом корпусе с габаритами $3 \times 3 \times 0,95$ мм.

Система Velocitip позволяет непрерывно получать данные при полете стрелы и тем

самым оценивать ее действие при поражении цели. В ходе испытаний системы акселерометр ADXL346 массой 6,5 г с помощью обычной резьбовой вставки одевался на наконечник стрелы (диаметром 9 мм). Он выдержал 100 циклов стрельбы с перегрузкой в 5000g (как правило, при каждом выстреле стрела испытывает перегрузку в 1000g в момент пуска и более 4000g при попадании в цель). В систему помимо акселерометра входят аккумулятор, док-станция, USB-кабель и ПО для компьютера. К достоинствам системы относятся:

- возможность сравнения энергии, развиваемой луком, и наконечником стрелы;
- регистрация времени полета стрелы (миллисекунды);
- возможность применения в помещении и на открытом воздухе;
- работа при стрельбе по любой традиционной цели.

Таким образом, благодаря системе Velocitip изготовители снаряжения для стрельбы из лука могут получать данные, позволяющие оценивать их продукцию.

Velocitip System by Full Flight Technology, a New Archery Industry Standard

Биосовместимые МЭМС заменят ампутированную руку

Миниатюрные МЭМС-датчики и механизмы сегодня можно встретить практически везде (бытовой электронике, автомобильных системах, медицине). Традиционно они изготавливаются на кремнии, металле или керамике и их трудно имплантировать в тело человека. Эту ситуацию может изменить работа группы исследователей Тель-Авивского университета (TAU), предложивших использовать наноимпринтинг для стереоскопической печати биосовместимых микрокомпонентов, пригодных для создания нового поколения удобных и безопасных имплантатов и биоконечностей, например биопротезов рук. Разработанный исследователями процесс позволяет получать высокоэластичную, тонкую (не толще листа бумаги) мембрану из специфического нетоксичного органического полимера P(VDF-TrFE-CFE),

который поставляется разработчиком французской химической компанией Arkema/Piezotech. К свойствам материала мембраны, позволяющим формировать перспективные микро- и наноразмерные датчики и исполнительные механизмы, относятся:

- пригодность для имплантации в тело человека;
- в сотни раз большая гибкость, чем у обычных материалов;
- малое потребление энергии и при использовании в немедицинских приложениях
- Сейчас исследователи TAU получают только отдельные печатные биоМЭМС-компоненты, но рассчитывают создавать полностью функционирующие МЭМС-приборы, которые будет легко изготавливать и которые буквально "встряхнут" производство медицинских устройств,

в частности диагностических систем и разумных протезов. Сегодня уже существуют бионные конечности, реагирующие на стимулы, генерируемые нервной системы пациента, перенесшего ампутацию, или внешней средой. Есть и искусственные мочевые пузыри, регулирующие мочеиспускание парализованных ниже пояса людей. Применение в таких протезах МЭМС с полимерными мембранами позволит сделать их более удобными, эффективными и безопасными.

Но не только медицинская аппаратура сможет получить выгоду от применения новых печатных биоМЭМС. Они смогут сыграть важную роль в достижении большего срока службы батарей фотокамер и смартфонов.

Printable biocompatible MEMS components are ideal for medical devices and bionic arm