

ЭНТРАКОМЕТРИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ НА ЧИПЕ. ГИБРИДИЗАЦИЯ МЕТОДОВ

© 2016 г. О.В. ГРАДОВ, Д.А. ШЕВЧЕНКО*

Институт энергетических проблем химической физики РАН им. В.Л. Тальрозе, г. Москва,
*НИИ молекулярной электроники, г. Зеленоград
e-mail: gradov@chph.ras.ru, gradov@center.chph.ras.ru

Предлагается новый подход к разработке лабораторий на чипе для работ в СВЧ-диапазоне, допускающий совмещение мощностных энтракометрических измерений с тензометрией, магнетометрией и акустохимическими (акустофлюидными) измерениями, в которых бороздки в листке энтракометра формируют капиллярные структуры, которыми обеспечивается трассирование анализируемой жидкости. В [1] рассматриваются возможности применения регистрирующих элементов с активной поверхностью, таких, как платиновый энтракометр, в качестве каталиметрических электродов или же твердотельных хемотронных элементов для измерений в СВЧ-поле. Однако диапазон измерений энтракометрами и номенклатура соответствующих переменных очень ограничены, в результате чего пользователи систем, предназначенных для измерений процессов на активной поверхности энтракометров, как правило, не получают комплексной информации о механизме СВЧ-индуцированных либо СВЧ-активированных процессов в среде, являющейся предметом их исследования. Особо критично отсутствие знаний о комплементарных дескрипторах процесса в биофизических работах и в работах по СВЧ-индуцированной самоорганизации в гетерогенных средах или композитных структурах, как известно, обладающих многофакторным характером отклика и определенной структурной и химической селективностью при подобной «СВЧ-накачке» [2]. Очевидно, что самоорганизация структур характеризуется не только мощностью СВЧ-воздействия, индуцирующего или активирующего их образование, но и механическими и микрогидродинамическими смещениями в среде, растяжением и сжатием в зонах разного состава и разной структуры, нарушением изотропии и появлением ориентированных либо асимметричных неравновесных структур во внешних полях (в частности – магнитном поле при магнетронном воздействии на железосодержащие частицы [3], в том числе – которые только формируются под действием СВЧ-поля, а исходно отсутствуют в прекурсор; тогда конфигурация СВЧ-поля определяет форму градиентных полей образования частиц либо одновременно частиц и агрегированных структур на их основе [4]). В таком случае, вполне очевидно, что комплексное исследование процессов на энтракометрических чипах должно подразумевать не только измерение мощности (эквивалентное измерениям на болометре, который, также как и энтракометр, включается в схему моста для индикации поглощенной мощности) и, в редких экзотических случаях [1], каталиметрию, но и тензометрию среды (в случае тензорезисторного метода требующей использования моста Уитстона), а также магнетометрию (для процессов, источником СВЧ-поля в которых является магнетрон либо его аналоги – приборы магнетронного типа: платинотрон, отличающийся от магнетрона по топологии разомкнутости системы резонаторов; амплитрон, эквивалентный платинотрону для усилительных задач, в режиме усиления СВЧ-колебаний; стабилотрон, отличающийся от вышеуказанного наличием дополнительных устройств генераторного контура, которым обеспечивается положительная обратная связь). Очевидно, что для установления четкого набора корреляций между факторами воздействия, про-

межуточными факторами, которые срабатывают в среде в результате СВЧ-воздействия, и результирующими факторами, для которых необходимо наличие первых, но которые, являясь откликом, отличаются от них и качественно, и энергетически, следует проводить данные измерения на едином приборе – без смены сенсора (которая, в случае использования активной поверхности невозможна и влияет на ход процесса) и относительного сдвига сенсора и измеряемого объекта. Данное требование для анализа гетерогенных самоорганизующихся систем связано, в частности, с тем, что требуется позиционно-чувствительное измерение и установление локализации и взаимной колокализации (пространственной корреляции) мощности СВЧ-воздействия и температуры, с одной стороны, и результирующих свойств (магнитных, тензометрических и др.), с другой стороны.

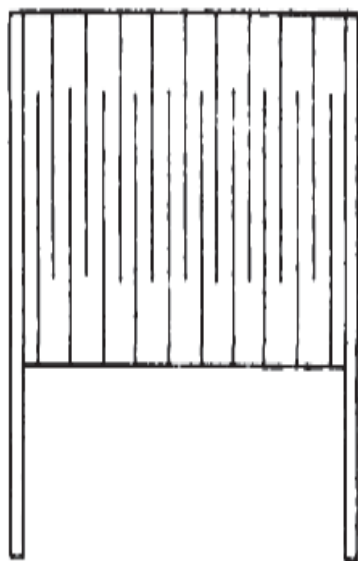


Рис. 1. Решетка энтракометра.

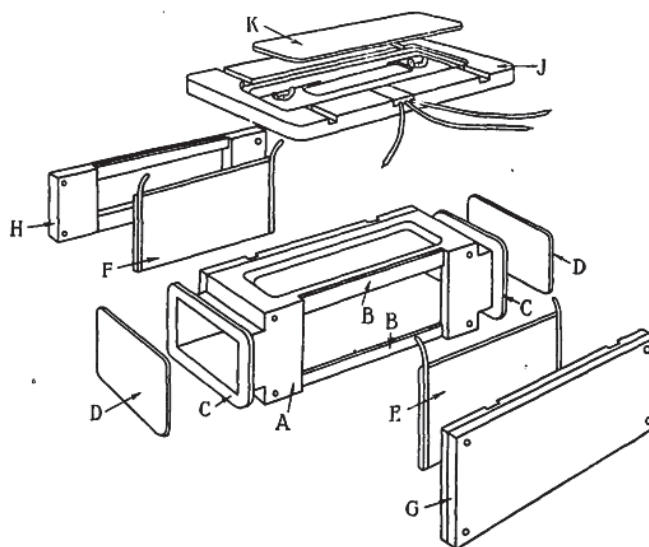


Рис. 2. Сборка ячейки энтракометра по Колларду.

Для анализа возможностей совмещения данных измерений на единой поверхности сенсора – энтракометра следует обратиться к топологическому решению элементарных (с точки зрения воспроизведения) платиновых и золотых Коллардовских энтракометров [5, 6]. Решетка Колларда (рис. 1), заключаемая в сборно-разборную ячейку (рис. 2), не является уникальной по геометрическому решению. В аналогичной геометрии выпускаются многие тензорезисторы, многослойные магниторезисторы – с различными по магнитным свойствам слоями, выполненными в форме меандра, и датчики на поверхностных акустических волнах с встречно-штыревыми преобразователями / встречно-ребенчатыми преобразователями, что эквивалентно. Количество меандров непринципиально. В определенном диапазоне параметров (know how) существует возможность реализации на единой подложке энтракометра, сенсора на поверхностных акустических волнах встречно-штыревой геометрии, магниторезистора (либо магнитострикционного сенсора, который за последние годы неоднократно в той же геометрии гибридизировался с ПАВ-сенсором [7]) и микрофлюидной совокупности каналов, выполняемой между меандрами слоев-сенсоров либо по ним, над ними (совместимость магнитных датчиков данной меандровой геометрии с жидкими средами сравнительно недавно показана в NASA [8], что формирует тренд на внедрение их в микрофлюидику и феррогидродинамику [9]). Надо сказать, что измерение и индикация эффектов магнитных полей магнетронных приборов в СВЧ-индуцированных процессах анизотропной самоорганизации на чипе с магниторезисторным энтракометром, гибридным с сенсором на поверхностной акустической волне создает качественно новые ветви акустофлюидики – микрофлюидики на поверхностных акустических волнах [10, 11], а именно «микроволновую акустофлюидику» и «магнитную акустофлюидику».

ку», чем достигается качественная новизна совокупности дескрипторов, анализируемых подобным типом устройств. На подобной «гибко-конфигурируемой архитектуре с нетвердотельными бороздками, управляемыми внешним полем» [12], локализованными вовне бороздок СВЧ-энтракометра, нами была реализована система управления магнитофлюидными потоками (благодаря неустойчивостям, основанная одновременно на магнитном и сверхвысокочастотном воздействии, синхронизированном за счет использования одного и того же магнетронного прибора как источника магнитного поля и СВЧ-возбуждения чипа. Перекрытие сигналов-дескрипторов в чипе устранимо, благодаря тому, что слои меандра, выполняющие одни функции, не будут выполнять другие (пространственное разделение), либо при скважности каждого из измерительных процессов время релаксации параметров при каждом измерительном прогоне будет меньше, чем время до останова режима сбора данных и запуска нового цикла измерений по другому параметру, для которого первый (за этот период не фиксируемый) является пассивным интервалом (временное разделение).

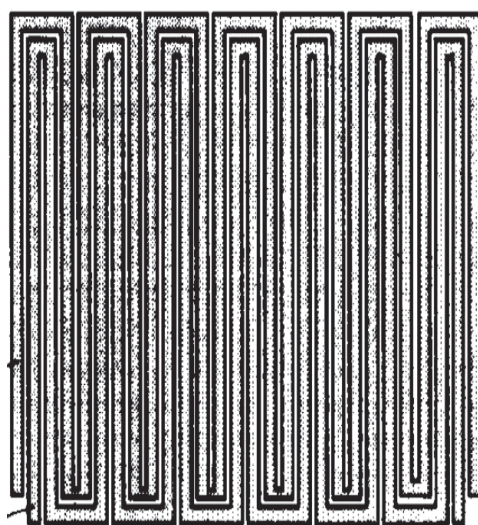
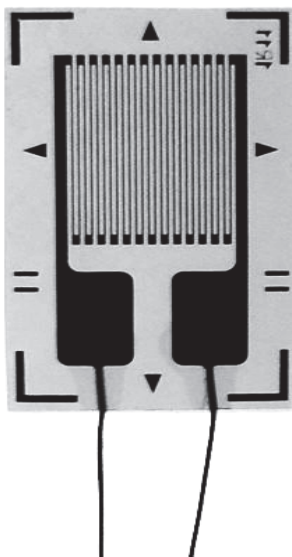


Рис. 3. Тензорезистор. Рис. 4. Многослойный магниторезистор. Рис. 5. Сенсор на ПАВ.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-32-00914. Авторы выражают благодарность рязанским и петербургским коллегам за конструктивные обсуждения и консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градов О.В., Шевченко Д.А. Энтракометрические лаборатории на чипе и энтракометрическая каталиметрия на чипах: осциллополярнографические и модуляционно-полярнографические исследования в СВЧ-поле. Часть 1-4: Обоснование конструкции // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2016, т. 2, №2, с. 42–63.
2. Градов О.В., Градова М.А. Многофакторный характер отклика частично упорядоченных сред различной дисперсности на СВЧ-облучение в процессе самоорганизации // ФИЗИКА СПб (Тез. конф.) / сер.: Приборы и материалы ТГц и СВЧ диапазона, 26-29 октября 2015 г., СПб. – СПб, ФТИ им. А. Ф. Иоффе, 2015, с. 212-213, 394.
3. Градов О.В., Градова М.А. СВЧ-индуцированная самоорганизация в насыщенных растворах солей Fe(III) и коллоидных суспензиях // Тез. IV Международн. Конфер. "Супрамолекулярные системы на поверхности раздела", 21 - 25 сентября 2015 г. – М., ИФХЭ РАН, 2015, с. 78.
4. Градов О.В., Градова М.А. Автоволновые измерения при СВЧ-индуцированной самоорганизации структур // Тр. Всероссийской научно-технической конференции

- «Микроэлектроника СВЧ», 4-12 июня 2012, СПб. – СПб, СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2012, с. 371-376.
5. *Collard J.* The gold-leaf electroscope and the Enthrakometer // Journal of the Institution of Electrical Engineers {Part IIIA: Radiolocation}. – 1946, v. 93, № 1, p. 209-211.
 6. *Collard J.* The Enthrakometer, an instrument for the measurement of power in rectangular wave guides // Journal of the Institution of Electrical Engineers {Part IIIA: Radiolocation}. – 1946, v. 93, № 9, p. 1399-1402.
 7. *Li B., Rowais H.A., Kosel J.* Surface Acoustic Wave Based Magnetic Sensors // In: Modeling and Measurement Methods for Acoustic Waves and for Acoustic Microdevices (Ed. by M.G. Beghi). – Rijeka, INTECH, 2013, p. 355-380.
 8. *Woodard S.E., Taylor B.D., Shams O.A., Fox R.L.* Magnetic Field Response Measurement Acquisition System // NASA Tech Briefs. – 2006, v. 30, № 6, p. 28.
 9. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика. – М.: Мир, 1989. – 356 с.
 10. *Carugo D., Octon T., Messaoudi W., Fisher A.L., Carboni M., Harris N.R., Hill M., Glynn-Jones P.* A thin-reflector microfluidic resonator for continuous-flow concentration of microorganisms: a new approach to water quality analysis using acoustofluidics // Lab Chip. – 2014, v. 14, № 19, p. 3830-3842.
 11. *Travagliati M., Shilton R.J., Pagliuzzi M., Tonazzini I., Beltram F., Cecchini M.* Acoustofluidics and whole-blood manipulation in surface acoustic wave counterflow devices // Anal. Chem. – 2014, v. 86, № 21, p. 10633-10638.
 12. *Градов О.В.* Новый принцип дизайна лабораторий на чипе на базе КМОП: гибко-конфигурируемая архитектура с нетвердотельными бороздками, управляемыми внешним полем, и многоуровневое преобразование сигнала для измерения переменных на одном чипе // Т. Шк.-Конф. «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники» (1-3 декабря 2015). – Ульяновск, УФИРЭ РАН им. В.А.Котельникова, 2015.