

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ, ЮБИЛЕЙНО ИЗДАНИЕ
130 ГОДИНИ СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ
и 55 ГОДИНИ ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
„Нови научни постижения и направления във Физически факултет“

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF PHYSICS, JUBILEE EDITION
130th ANNIVERSARY OF SOFIA UNIVERSITY
and 55th ANNIVERSARY OF FACULTY OF PHYSICS
“New scientific achievements and directions in the Faculty of Physics”

**ЛАБОРАТОРИЯ ПО АКУСТИЧНИ ВЪЛНИ КЪМ КАТЕДРА
„ФИЗИКА НА ТЪВРДОТО ТЯЛО И МИКРОЕЛЕКТРОНИКА“**

ВЕСЕЛИН СТРАШИЛОВ, ГЕРГАНА АЛЕКСИЕВА

Катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника“

*Веселин Страшилов, Гергана Алексиева. ЛАБОРАТОРИЯ ПО АКУСТИЧНИ ВЪЛНИ
КЪМ КАТЕДРА „ФИЗИКА НА ТЪВРДОТО ТЯЛО И МИКРОЕЛЕКТРОНИКА“*

В статията са набелязани дейностите, които в последно време се развиват в Лабораторията по акустични вълни към катедра “Физика на твърдото тяло и микроелектроника”. Очертани са няколко направления на изследване, включващи теоретичен анализ на резонансни устройства с повърхнинни акустични вълни и повърхнинни напречни вълни на базата на модов формализъм, ехо- и акустооптични техники за изследване на материали, резонатори с обемни и повърхнинни акустични вълни с полимерно покритие за сензорни приложения за газови анализи и фармацевтични вещества, изследвания върху наноструктурирани материали. От голямото количество натрупани резултати са отсяти някои от по-значимите постижения.

*Veselin Strashilov, Gergana Alexieva. LABORATORY OF ACOUSTIC WAVES AT
DEPARTMENT OF SOLID STATE PHYSICS AND MICROELECTRONICS*

The recent activity of the Acoustic Waves Laboratory at the Department of Solid State Physics and Microelectronics has been discussed. Several directions of research have been outlined including theoretical analysis of surface acoustic wave and surface transverse wave resonant devices by a coupling of modes formalism, pulse echo and acousto-optic techniques for material testing, polymer coated bulk

За контакти: Гергана Алексиева, Катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника“, Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. „Дж. Баучер“ 5, 1164 София, тел.: +359 2 8161 846, E-mail: gerry@phys.uni-sofia.bg

and surface acoustic wave resonators and appliances for sensor analysis of gaseous analytes and pharmaceutical substances, research on nanostructured materials. Among a profusion of results obtained, some achievements of distinction have specifically been pointed out.

Keywords: acoustic waves laboratory, bulk and surface acoustic waves, echo and acousto-optic techniques, material testing

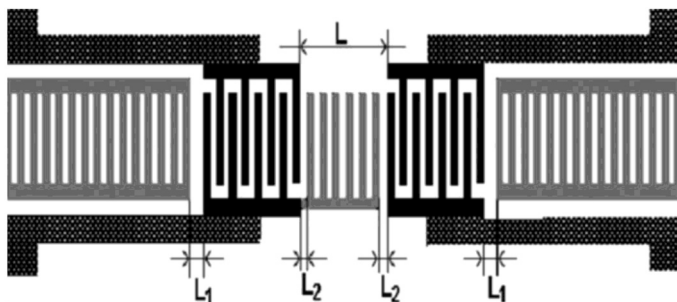
PACS numbers: 01.50.Pa, 62.30.+d, 43.35.Yb, 81.70.Cv

НАУЧНА ДЕЙНОСТ И ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

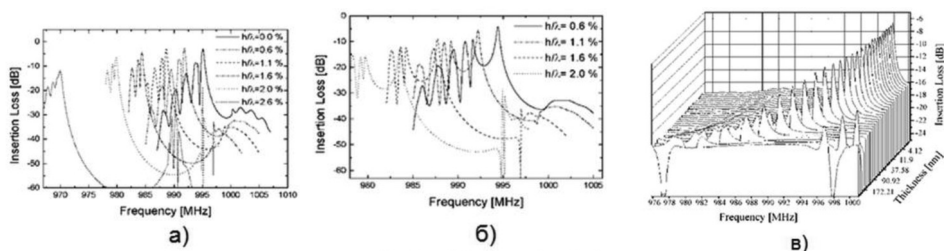
Лабораторията по акустични вълни при катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника“ на Физическия факултет е една от лабораториите, наследници на основаната и дълго време ръководена от проф. Милко Борисов изследователска група по акустоелектроника. През годините в тази група се извършиха множество теоретични и експериментални изследвания в различни направления на твърдотелната акустика – акустоелектрични ефекти в полупроводници, акустични и акустооптични свойства на материалите, параметри на моделни елементи и уреди на акусто- и микроелектрониката с обемни и повърхнинни акустични вълни, сензорни изследвания. Тези изследвания станаха възможни благодарение на сътрудничеството на лабораторията с колеги и звена от страната и чужбина, както и с талантиви студенти и докторанти. Със средства от договор с Фонда за научни изследвания, ръководен от ръководителя на лабораторията, както и от вътрешни договори с Фонда на Софийския университет, беше обогатен експерименталният парк, включващ електронна апаратура за изследвания до 100 MHz, в това число генератори, осцилоскопи, спектрални анализатори и анализатори на вериги, както и лазерни източници и цифрови детектори на светлина. Беше изградена установка за газови сензорни измервания от затворен и поточен тип с цифрова обработка на информацията. Бяха използвани и високотехнологичните възможности за разработка на материали и структури на чуждестранните звена – сътрудници. Ще дадем кратко описание на основните дейности и резултати от тях, получени през последните двадесет години.

Бяха положени значителни усилия в разработката на адекватна теория за анализ на резонансни структури с напречни повърхнинни акустични вълни (НПВ), които станаха актуални в последните десетилетия с предимствата си пред класическите структури с повърхнинни вълни (ПАВ). Тази теория се основава на известната от микровълновата физика теория на свързаните модове, като отчита спецификата на НПВ най-вече по отношение на дисперсията. В завършения си вид, последващ резултатите на предишни дипломанти и докторанти, тя бе представена в докторската дисертация на Венцислав Янчев [1]. Нейното качество се вижда най-добре при сравнението с експериментални резултати, получени върху двуходови НПВ резонатори върху кварц, разра-

ботени за газови сензори. Типичният вид на такъв резонатор е показан на фиг. 1. В лабораторията на нашите германски колеги и съавтори от Института по експериментален анализ в Карлсруе, Германия, бяха извършени серия сравнителни експерименти по масочувствителността на резонатори с ПАВ и НПВ, покрити със стъклообразния полимер Polyurene-C. Резонансните криви бяха снемани успоредно с нанасянето и удебеляването на слоя. На фиг. 2в се вижда получената експериментална графика за НПВ резонатор на 1 GHz, която трябва да се сравни с получената от нас теоретично (фиг. 2а).



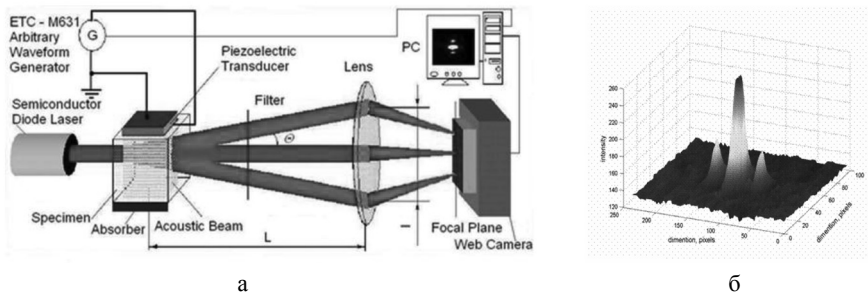
Фиг. 1. Двухводен НПВ резонатор. Поглед отгоре към металните електроди върху повърхността на кварцова пиезоелектрична подложка. В черно – преобразуватели, в сиво – отражателни и съгласуващи решетки, L – спейсьри



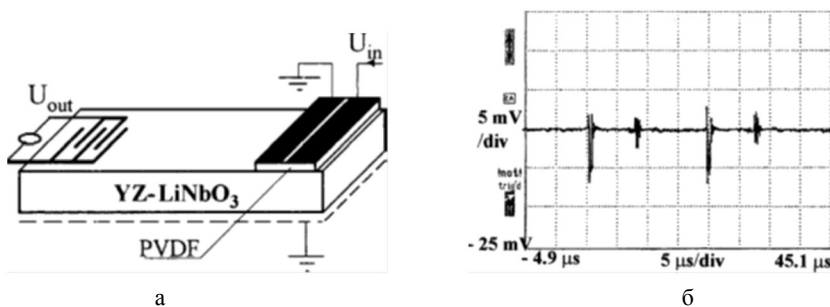
Фиг. 2. Сравнение между теоретичните и експерименталните резонансни криви на 1 GHz НПВ резонатор: а) теория за симетричен дизайн; б) теория за асиметричен дизайн; в) експеримент [2]

Описанието на поведението на позицията на главния пик и неговите загуби с дебелината на слоя е отлично. Вижда се и силното влияние на един $\lambda/8$ спейсьр във виртуалния асиметричен дизайн (фиг. 2б), потвърдено експериментално от проф. Иван Аврамов от ИФТТ-БАН. Тук ще отбележим, че във всички изследвания, свързани с уреди на ПАВ, проф. Аврамов ни оказва неочецимно съдействие.

В лабораторията е усвоено изследването на твърдотелни материали с цифрова акустооптична методика и акустична ехометодика (фиг. 3а, б). При акустооптичния метод се следи разпределението на дифракциралата



Фиг. 3. Акустооптична система за измерване на скорости и затихване в прозрачни материали (а) и разпределение на дифракцирания интензитет (б) [3]



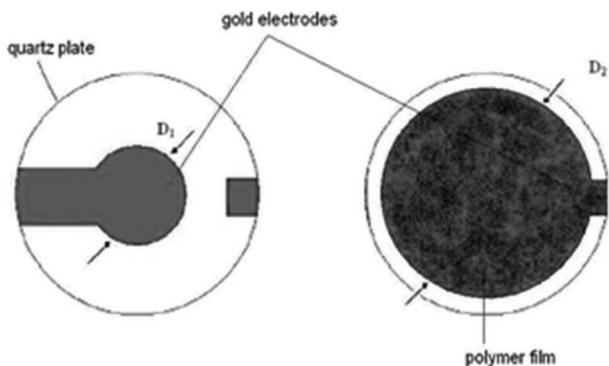
Фиг. 4. Конфигурация за акустични ехоизследвания в режим на повърхнинна вълна (а) и съответна ехограма (б) [4]

от акустичната вълна светлина, а при ехометода се следят акустичните импулси след преминаването им през образеца. Бяха изследвани ниски акустични скорости, както и затихване, в редица материали: оловен молибдат, кварцово стъкло с оловни примеси за закъснителни линии и редица полимери – полистирол, поликарбонат, полиметилметакрилат. Наскоро бе измерена ниска скорост (под 3000 m/s) на надлъжната вълна, дължаща се на тежките елементи в твърдия разтвор $Ag_4SSe.2PbTe$.

Интересът към самите полимерни материали възникна преди около 20 години във връзка със започнати съвместни изследвания с екипа на проф. К. Дрансфелд от Университета в Констанц, Германия, върху пиезоелектричните свойства на поливинилфлуорид (PVDF). Този полимер има силна напречна пиезоелектрична константа d_{24} , но неговото използване за пиезоелектрични преобразуватели за напречни акустични вълни и ПАВ не бе изследвано. На този проблем бе посветена работа [4], фиг. 4 по-горе, в която бяха дадени предписания за конструиране на ефективни преобразуватели от този тип.

През последните години освен към нови полимери усилията са насочени и към изследвания на различни наноструктурирани материали, като тези изследвания вървят успоредно с експериментите върху ниско и високочестотни акус-

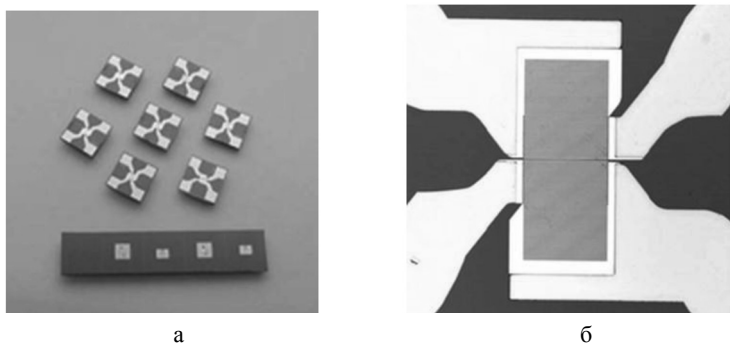
тични резонатори с обемни и повърхнинни акустични вълни с нанесени чувствителни покрития. Получените резултати са важни за разработването на нови сензорни устройства, а също така намират специфични приложения в областта на фармацията и химията. Без да сме в състояние да представим получените в това поле резултати с достатъчна степен на подробност, скицираме основните от тях.



Фиг. 5. Кварцов резонатор на 10 MHz със златни електроди и полимерно покритие.
 $D_1 = 6,4 \text{ mm}$, $D_2 = 12,2 \text{ mm}$ [5]

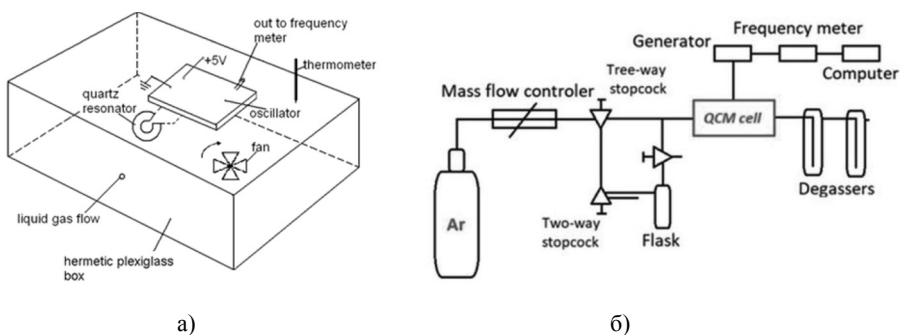
Освен представения на фиг. 1 НПВ резонатор, както и подобният ПАВ резонатор, други характерни използвани чувствителни елементи за газови сензорни изследвания са кварцовият резонатор с обемни акустични вълни (quartz crystal microbalance, QCM), фиг. 5, и разработеният в лаборатория Ангстрьом на Университета в Упсала, Швеция, тънкослоен резонатор с лембови вълни (FPAR), фиг 6. Полимерните образци за нанасяне върху повърхността на тези елементи бяха синтезирани в различни звена – Катедрата по полимерно инженерство към ХТМУ (полихексанлактам, поливинилпиролон, полиакрилонитрил), Групата по акустоелектроника при ИФТТ-БАН (плазмено нанесен хексаметилди-силоксан), Центъра по полимери на Университета в Лийдс, Англия (златни наночастици в полимерна матрица, наножички от ZnO), Институт Жан Ламур при Университета в Нанси, Франция (полиуретани). Нанасянето се правеше при нас (спин-коатинг) или в споменатите звена по различни начини. При изследванията използвахме фабрични газове най-вече от групата на летливите съединения – етанол, ацетон, метанол, амоняк, хлороформ, оцетна киселина, мравчена киселина, ксилени, с особено внимание към токсичните хексаметиленимин и пиридин.

За целите на облъчването на сензорните елементи с газове и измерването поведението на резонансната честота в резултат на абсорбцията бяха разработени две системи. При едната система, фиг. 7а, елементът се поставя в затворена клетка, в която газът се въвежда чрез впръскване в течна форма.



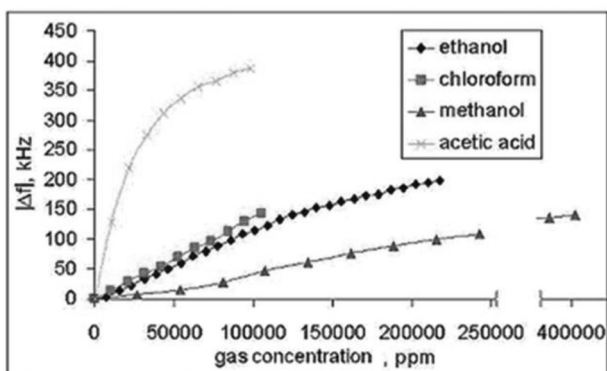
Фиг. 6. FPAR елементи на 0,9 GHz за газови сензори (а), в уголемен вид (б) [6, 7]

От количеството на доставения аналит се определя неговата концентрация в съда. При другата система, фиг. 7б, газът се доставя до елемента в поток от аргон. Тук има възможност за регулиране и точно измерване на скоростта на потока.



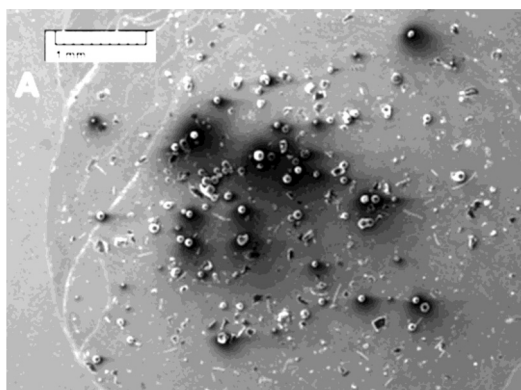
Фиг. 7. Системи за газови изследвания чрез кварцови резонатори (QCM):
а) затворена клетка [5]; б) поточна клетка [8]

Бяха получени голямо количество резултати, публикувани в редица работи [5–13], които нямаме възможност да дискутираме в детайли. Впечатляващ изглежда резултатът, получен с резонатора на ПАВ с наноструктуриран полимерен филм, фиг. 8. Като илюстрация чувствителността към оцетната киселина от порядъка на 350 kHz при



Фиг. 8. Чувствителност на ПАВ резонатор на 1 GHz, покрит със златни наночастици в полимерна матрица, към различни газове [9]

50 000 ppm е толкова висока, че позволява навлизане в ppb областта. Впечатлява и много високата масочувствителност на елемента FPAR – съотношение 5,0/1,3/1,0 спрямо НПВ и ПАВ [6].



Фиг. 9. Полимерни микрочастици от Eudragit RS100, натоварени с лекарството Diltiazem върху златния електрод на кварцов резонатор [12]

В последните години поточната система бе изнесена териториално в Медицинския университет във Варна, където с нея оперира доц. Илиян Колев, наш дългогодишен сътрудник. Целта е да разширим изследваните проблеми с включване на лекарствени препарати. На фиг. 9 са показани първи резултати по синтезиране на полимерни микрочастици, предназначени за кръвен пренос на лекарство. В момента се обосновава възможността за количествено определяне на съдържанието на лекарството с QCM-метода.

Успоредно със сензорните изследвания продължаваме усилията по изследване на самите наноструктурирани материали. С акусто-оптичната методика бяха потвърдени очакванията от предишните дейности, че въвеждането на наночастици (ZnO , $LiNbO_3$, IF) в матрицата на кополимера PVDF-TrFE, извършено от френските колеги в Нанси, Франция, уплътнява аморфната фаза и подобрява коефициента на електромеханична връзка на филмите чрез модифициране на механичната твърдост [14].

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- [1]. Yantchev, Ventsislav M. "Analysis of resonant structures with surface transverse waves on piezoelectric quartz", PhD Dissertation, Sofia University, 2003 (in Bulgarian).
- [2]. Yantchev, V., V. Strashilov, M. Rapp, U. Stahl and I. Avramov. *IEEE Sensors J.*, 2002, **2**, 307.
- [3]. Alexieva, G., I. Traykov and V. Strashilov. *Optica Applicata*, 2007, **37**, 313.
- [4]. Strashilov, V. *J. Appl. Phys.*, 2000, **88**, 3582.
- [5]. Strashilov, V. G. Alexieva, V. Velichkov, R. Mateva and I. Avramov. *Sensor Lett.*, 2009, **7**, 2, 203.
- [6]. Arapan, L., G. Alexieva, I. Avramov, E. Radeva, V. Strashilov, I. Katardjiev and V. Yantchev. *Sensors*, 2011, **11**, 6942.
- [7]. Arapan, L., G. Alexieva, I. Avramov, V. Strashilov, E. Radeva, I. Katardjiev and V. Yantchev. Proc. 2011 Joint IEEE International Frequency Control Symposium (IFCS) and European Frequency and Time Forum (EFTF), San Francisco, 2011, 248.
- [8]. Kolev, I., V. Mavrodinova, G. Alexieva and V. Strashilov. *Sensors and Actuators*, 2010, **B149**, 2, 389.
- [9]. Strashilov, V. L., G. E. Alexieva, V. N. Velichkov, I. D. Avramov and S. D. Evans. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Control*, 2009, **56**, 5, 1018.
- [10]. Youssef, I. B., Sarry, F. Nysten, B., Alexieva, G., Strashilov, V., Kolev, I., Alem, H. *Talanta*, 2016, **153**, 145.
- [11]. Kolev, I., Alexieva, G., Strashilov, V., Youssef, I. B., Sarry, F., Alem, H. *Journal of Applied Polymer Science*, 2016, **133**, 48, 44214.
- [12]. Kolev, Iliyan, Nadezhda Ivanova, Gergana Alexieva, Gichka Tsutsumanova, Vesselin Strashilov. *Scripta Scientifica Pharmaceutica: online first*, 2018, **5**, 1, 13.
- [13]. Strashilov, V. L., G. E. Alexieva, G. G. Tsutsumanova, I. N. Kolev, I. D. Avramov, *Bulgarian Chemical Communications*, 2016, **48**, 1, 134.
- [14]. Strashilov, V., Alexieva, G., Vincent, B., Nguyen, V. S., Rouxel, D. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 2014, **118**, 4, 1469.