

- [2] Федорцов А.Б., Чуркин Ю.В., Шалыгин В.А., Штурбин А.В. // Деп. ВИНТИ № 1451 - В87.
- [3] Алмазов Л.А., Малютенко В.К., Федоренко Л.Л. // ФТП. Т. 22. В. 9, С. 1337-1340.
- [4] Валяшко Е.Г., Плескачева Т.Б. // ФТП. 1973. Т. 7. В. 4. С. 836-839.
- [5] Воробьев Ю.В., Вустенко А.И., Гайсаниук А.В., Исмаилова Э.А., Колбин М.Н., Смирнов А.С., Фомин Н.Г. // УФЖ. 1987. Т. 32. № 7. С. 1100-1104.
- [6] Wilson T., Pester P. Phys. status. solide. 1987. A. 103. N 2. P. 631-636.

Поступило в Редакцию
8 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 8 26 апреля 1990 г.

08

© 1990

ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И РЕЗОНАТОРОВ СДВИГОВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В γ -СРЕЗАХ SiO_2

Л.Н. Жиженкова, В.С. Филинов

Горизонтально поляризованные волны (приповерхностно-объемные акустические волны (ПОАВ), сдвиговые поверхностные волны (СПВ) и волны Лява) привлекают в настоящее время большое внимание в связи с возможностью повышения рабочих частот акустоэлектронных устройств на их основе [1-3], в том числе до единиц гигагерц в рамках технологии фотолитографии [2]. Повышение обусловлено более высокой скоростью этих волн по отношению к традиционной волне Рэлея.

Как было показано в работе [4], перечисленные волны в кварцевых подложках повернутых γ -срезов обладают еще одним привлекательным свойством. На их основе возможна реализация естественного однопольного преобразователя (ЕОП) [5]. Последний позволяет уменьшить вносимые потери в устройствах, причем без понижения рабочих частот, свойственного другим типам однопольных преобразователей. Направленность излучения ЕОП, представляющего обычную встречно-штыревую структуру (ВШС) электродов с топологическим масштабом $\lambda/4$ (λ - длина волны), достигается следующим образом. Для звукопровода используют срезы кристаллов, в которых фазовый сдвиг (φ) между упругими смещениями (V) и пьезоэлектрическим потенциалом (Φ)

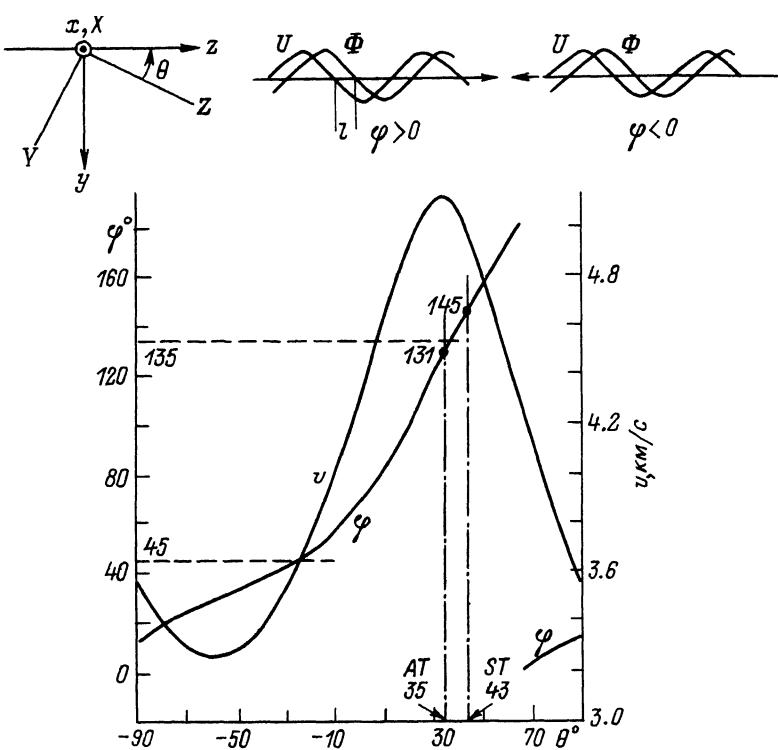


Рис. 1.

в волне равен $(2n + 1)\pi / 4$ (n – целое число). Электроды ВШС выполняют достаточно толстыми, чтобы волна не только возбуждалась, но и отражалась ими как упругими неоднородностями. При этом сдвиг φ обеспечивает синфазное сложение возбужденной и отраженной волн в одну сторону от преобразователя (в дальнейшем „прямое направление“), притивофазное – в другую („обратное направление“). До работы [4] подобные срезы были найдены лишь для волны Рэлея [6, 7].

Расчитанный в приближении отсутствия влияния пьезоэффекта на структуру волны сдвиг $\varphi = \arg \Phi - \arg V = \Delta\varphi(\theta) + \pi/2$ для ПОАВ в Y -срезах SiO_2 при разных углах среза θ приведен на рис. 1 (величины $\sim e^{i\omega t}$). Здесь же дан график скорости (v) ПОАВ. Как видим, имеется диапазон углов среза (вблизи v_{\max}), в котором сочетаются большая скорость (возможность повышения рабочей частоты) и близость φ к 135° (возможность уменьшения вносимых потерь за счет ЕОП). В него попадают и стандартные срезы ST ($\Delta\varphi = 55^\circ$) и AT ($\Delta\varphi = 41^\circ$), на которых далее демонстрируется однонаправленность излучения ВШС.

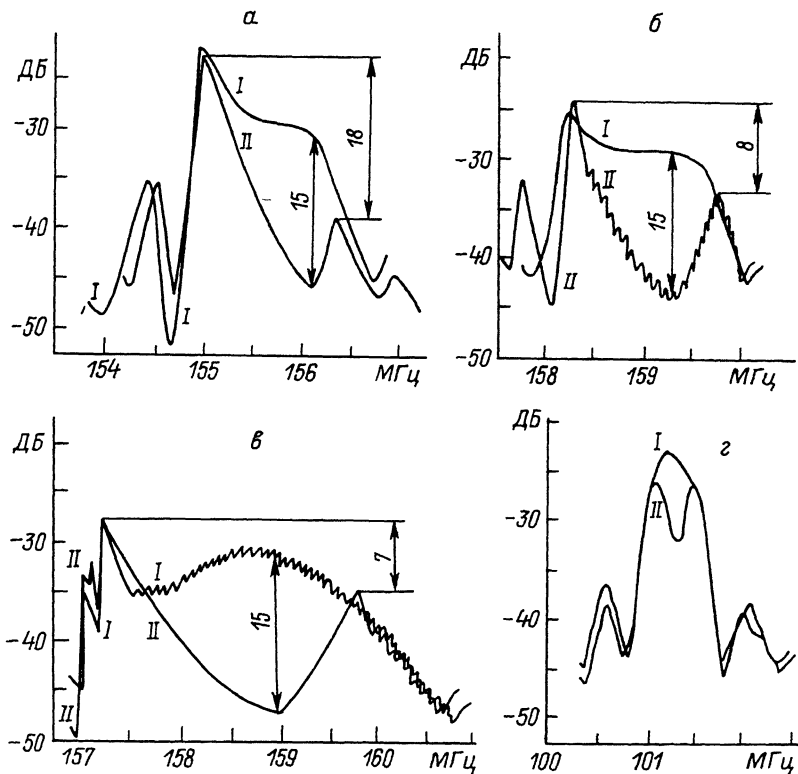


Рис. 2.

Использовалась тестовая структура [4] из трех преобразователей: длинного излучающего (200Δ , Δ – период ВШС) и двух коротких приемных (по 30Δ). Для ненаправленности приема последних брэгговское отражение волны под ними устранялось путем расщепления штырей. Поверхность между ВШС (по 10Δ) и за ними (по 10Δ) покрывалась решеткой электродов с шагом $\Delta/4$. Апертуры ВШС равны 100Δ , $\Delta = 32$ мкм. Толщина электродов h во всей структуре одинаковая. Отражение волны из-за $\Delta\sigma/\sigma$ -эффекта мало. Толстые алюминиевые электроды благодаря замедлению обеспечивают трансформацию ПОАВ в локализованную у поверхности СПВ под структурой и брэгговское отражение волны под центральным преобразователем, необходимое для однонаправленности его излучения. Расчеты на центральной частоте показали незначительное изменение φ в СПВ по сравнению с ПОАВ в АТ- и СТ-средах при используемых h .

АЧХ коэффициентов передачи по мощности без согласования цепей приведены на рис. 2, а, б, в: на ST -срезах при $h=5100 \text{ \AA}$ (2а), на AT -срезах при $h=5200 \text{ \AA}$ (2б) и $h=6700 \text{ \AA}$ (2в). Емкости ВШС составили 6,5–7 пФ и 31–34 пФ. В брэгговской полосе частот перепад значений коэффициентов передачи в прямом (1) и обратном (П) направлениях в максимуме достигал 15 дБ. С ростом h брэгговская полоса расширялась.

Для сравнения на рис. 2, г приведена АЧХ структуры, ориентированной на ST -срезах под углом $\pm 25^\circ$ к X -оси [7], и работе с волной Рэлея ($h=3300 \text{ \AA}$). АЧХ качественно отличаются. При СПВ они существенно несимметричны. В прямом направлении в них практически отсутствует подъем на верхней границе брэгговской полосы, в обратном направлении этот подъем меньше, чем на нижней границе на 7–8 дБ в AT -срезах, на 15–18 дБ в ST -срезах. Несимметрия АЧХ может вызываться отличием φ от $(2n+1)\pi/4$ (для волны Рэлея см., например, [8]). У нас в срезах AT $\varphi=135^\circ-4^\circ$, ST $\varphi=135^\circ+10^\circ$. Такое отличие, в частности, должно приводить к смещению частоты противофазного сложения излученной и отраженной волн (обратное направление), вниз от центральной брэгговской частоты f_0 в AT -срезах, вверх от f_0 в ST -срезах. Однако при работе с СПВ другое обстоятельство является определяющим для вида АЧХ.

СПВ – это волна периодической структуры. Скорость таких волн в брэгговской полосе частот увеличивается к верхней границе [9, 10]. В СПВ со скоростью жестко связана глубина локализации энергии волны. Близость скорости на верхней границе полосы к скорости ПОАВ делает СПВ слабо локализованной, неэффективно взаимодействующей с преобразователями, что и приводит к деформации АЧХ. Дополнительная несимметрия АЧХ из-за $\varphi \neq 135^\circ$ при этом проявляется косвенно: в меньшей (7–8 дБ в AT -срезах) или большей (15–18 дБ в ST -срезах) разнице уровней подъема АЧХ на краях брэгговской полосы в обратном направлении излучения (П).

Итак, несмотря на несимметричный вид АЧХ при СПВ, направленность излучения ВШС была достигнута значительная, и может быть использована для уменьшения вносимых потерь в высокочастотных устройствах.

Учет фазового сдвига φ в волне между упругими смещениями и пьезоэлектрическим потенциалом необходим во всех устройствах, работающих на совокупности взаимодействий с волной: акустического и электрического. Выше говорилось о существенном влиянии φ на характеристики преобразователя с толстыми электродами. Остановимся на проявлении сдвига φ в резонаторах (в частности, в резонаторах СПВ на кварцевых подложках повернутых Y -срезов)

Поскольку в волнах, распространяющихся во взаимно-противоположных направлениях, знаки φ различны (см. вставку рис. 1), то в резонаторах φ задает величину пространственного сдвига $l = \lambda \varphi / 2\pi$ пучностей (узлов) упругих смещений V относительно

пучностей (узлов) пьезоэлектрического потенциала Φ в стоячей волне, т.е. продольной моде резонатора.

Широкое распространение получили резонаторы с зеркалами в виде решетки периодических канавок, отражающих волну в результате взаимодействия с упругими смещениями. При этом связь с модами осуществляется через расположенную в резонаторной полости ВШС путем взаимодействия электродов с пьезоэлектрическим потенциалом в волне. В резонаторах такого типа оптимальное местоположение ВШС в полости для связи с модой зависит от сдвига \bar{z} . Действительно, в работе [11] при центросимметричном расположении ВШС в указанном одноходовом резонаторе на ST -срезах SiO_2 при работе с волной Рэлея (ориентация резонатора вдоль X -оси) на АЧХ наблюдалась одна волна, а при СПВ (ориентация поперек X -оси) – две. Это обусловлено различными значениями φ в СПВ и волне Рэлея. Как было показано выше, в ПОАВ (и в СПВ при небольших граничных возмущениях) в AT - и ST -срезах $\varphi \approx 135^\circ$, поэтому центросимметрично расположенная ВШС взаимодействует и с симметричной и с антисимметричной модами резонатора (здесь и в [11] симметрия моды определяется картиной стоячей волны упругих смещений, что удобно при зеркалах в виде упругих неоднородностей). Узлы пьезоэлектрического потенциала в каждой из них примерно одинаково удалены от центров электродов ВШС. При $\varphi = n\pi/2$ пропадает регистрация одной из мод в связи с совпадением электродов ВШС с узлами ее потенциала Φ , что и наблюдалось в [11] при работе с волной Рэлея.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Кондратьев С.Н. // Зарубежная радиоэлектроника.
- [2] Lau K.F., Yen K.H., Kagiwada R.S., Kong A.M. // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1980. P. 240-244.
- [3] Гуревич Г.Л., Жиженкова Л.Н. // ЖТФ. 1986. Т. 56. В. 10. С. 2001-2003.
- [4] Жиженкова Л.Н., Свешников Б.В., Филинов В.С. // Тез. докл. XIУ Всес. конф. по акустоэлектронике и физической акустике твердого тела, Кишинев, 1989. Ч. 2. С. 129-130.
- [5] Europ. Pat. Appl. N 0184508A2:HO3H9-145. 1986.
- [6] Пат. США № 4670680, МКИ H01L 41/08, НКИ 310-313. 1987.
- [7] Пат. США № 4670681, МКИ H01L 41/08, НКИ 310-313. 1987.
- [8] Wright P.V., Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1985. P. 58-63.
- [9] Гуляев Ю.В., Плесский В.П., Тен Ю.А. // РЭ. 1984. Т. 29. В. 7. С. 1301-1305.

- [10] Auld B.A., Thompson D.F. // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1987. P. 305-312.
- [11] Анисимкин В.И., Магомедов М.А., Федосов В.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 1. С. 56-61.

Поступило в Редакцию
10 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 8 26 апреля 1990 г.

О МЕХАНИЗМАХ ВОЗБУЖДЕНИЯ МИКРОРЕЗОНАТОРОВ ОПТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

07; 08

© 1990

В.Д. Бурков, Ф.А. Егоров Ф.А., С.В. Шаталин

В последнее время появился ряд работ, посвященных исследованию возбуждения оптическими методами механических микрорезонаторов. Этот интерес вызван тем, что они имеют большие перспективы для использования в качестве чувствительных элементов в волоконно-оптических датчиках и в информационно-измерительных системах как элемент коммутации [1]. Микрорезонатор представляет из себя, например, кремниевый мостик микронных размеров,etchаемый методом анизотропного травления кремниевой подложки [2] (см. рисунок). Главным достоинством таких микрорезонаторов является возможность эффективного возбуждения в них механических колебаний мостика оптическим излучением сравнительно малой интенсивности ~ 1 мВт. В настоящее время общепринятое объяснение механизма возникновения колебаний основывается на фототермическом эффекте: падающее на мостик излучение поглощается им, нагревает его, и нагрев в силу термического расширения приводит к смещению мостика из положения равновесия [3, 4]. Экспериментальные результаты, в основном, только качественно согласуются с данными расчета, основанными на такой модели [3]. Несмотря на это, в литературе нам не удалось найти анализа влияния на работу микрорезонатора других факторов, например силы давления падающего на мостик излучения. Расчеты, приведенные нами ниже, показывают, что влияние силы давления оптического излучения может оказаться весьма существенным: вклад в амплитуду колебаний мостика микрорезонатора составляет, по крайней мере, не менее 5% в обычных условиях, а в случае, если поверхность мостика сильно отражает падающее излучение, давление оптического излучения становится определяющим при возбуждении микрорезонатора.

Рассмотрим возбуждение микрорезонатора (см. рисунок) силой F , возникающей из-за давления узкого пучка света с мощностью