

Добротность составного акустического резонатора на основе пьезоэлектрической структуры «Al/AlN/Mo/алмаз» в диапазоне частот 1-20 ГГц

Б.П. Сорокин^{1,2}, Г.М. Квашнин¹, А.С. Новоселов^{1,2}

¹Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов,

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

В настоящее время актуальным направлением развития акустоэлектроники является создание и исследование пьезоэлектрических слоистых структур (ПСС) [1-6] с возможно более высокими значениями рабочих резонансных частот и добротности Q . В ПСС производится напыление пьезоактивного материала на кристаллическую подложку между двумя металлическими электродами. В случае, если толщины электродов и пьезоэлектрика значительно меньше толщины подложки, такую структуру называют составным акустическим резонатором (САР) или в английской литературе High-overtone Bulk Acoustic Resonator (HBAR). Акустоэлектронные свойства такого САР будут зависеть от свойств материала подложки. Сегодня самыми распространенными и изученными являются структуры с подложкой из кварца [1], кремния [1], ниобата лития [2-4]. Однако в случае использования более твердых материалов, например сапфира [1], можно получить и более высокие значения параметра качества резонатора $Q \cdot f$. Так, для САР на основе сапфира на частоте 1 ГГц добротность в четыре раза выше, чем на кварце, и на порядок выше, чем на кремнии [1]. Дополнительно к этому, использование твердых и сверхтвёрдых материалов с малым затуханием позволяет увеличить рабочие частоты и чувствительность устройств на основе таких структур. Таким образом, использование алмаза в качестве подложки позволяет получить наиболее высокие значения рабочих частот, добротности и параметра качества.

В данном исследовании выполнена работа по изучению САР на основе пьезоэлектрической структуры «Al/AlN/Mo/алмаз» с подложкой из синтетического монокристалла алмаза Па типа [7-11]. Конечной целью является повышение рабочих частот резонаторов. Благодаря самым высоким значениям скорости звука (вдоль [111] скорость ОАВ в алмазе достигает 18350 м/с) алмаз позволяет достигнуть рабочих частот резонатора вплоть до 20 ГГц (и выше). Важно отметить, что в алмазе при повышении частоты начиная с ~ 1 ГГц происходит смена режимов фонон-фононного затухания с режима Ахиезера на режим Ландау-Румера [12]. Для большинства кристаллов смена режимов наблюдается в диапазонах выше десяти ГГц. Это позволяет получить резонаторы на основе алмаза с чрезвычайно низким затуханием на рабочих частотах выше десяти ГГц по сравнению с другими материалами.

В настоящей работе исследована работа таких САР на частотах 1-20 ГГц (Рис. 1). Получены значения добротности в диапазоне 5 – 10 тысяч и значения $Q \cdot f \sim 2 \cdot 10^{14}$ Гц на частотах 16 – 20 ГГц, что является рекордными значениями среди известных САР как по частотам возбуждения акустических обертонов, так и величине параметра качества.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №16-12-10293 от «06» мая 2016 г.

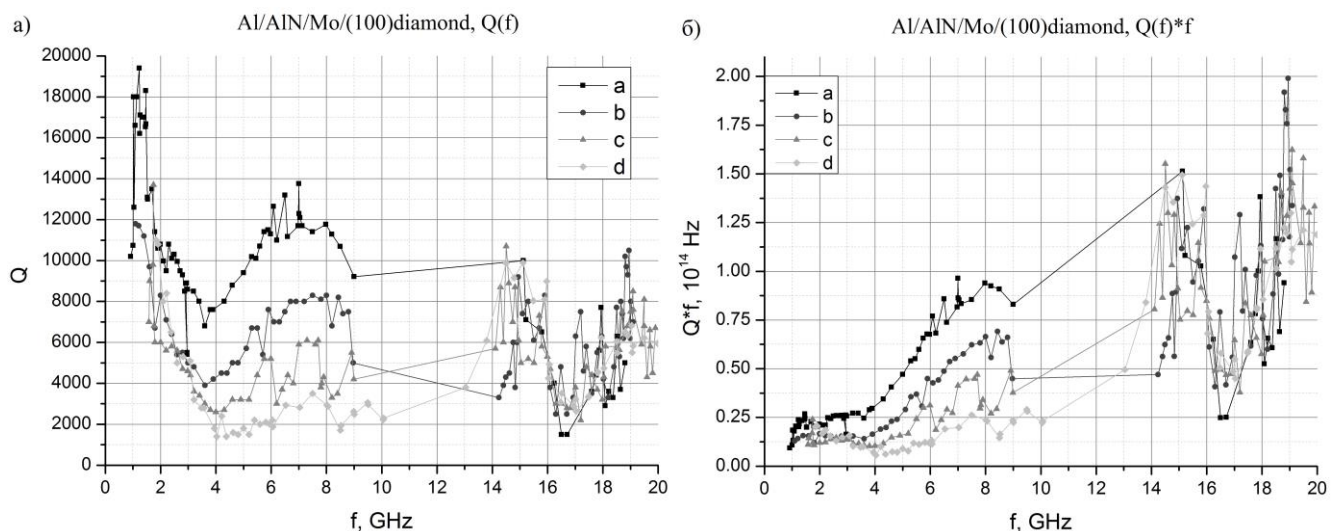


Рис 1. Добротность(а) и параметр качества(б) структуры «Al(140 мкм)/AlN(425мкм)/Mo(182мкм)/(100) алмаз(501мкм)» в диапазоне частот 1-20 ГГц

Литература

- [1] *Zhang H., Pang W., Yu H., and Kim E.S.* High-Tone Bulk Acoustic Resonators on Sapphire, Crystal Quartz, Fused Silica, and Silicon Substrates // *J. Appl. Phys.*, V. 99, P. 124911, 2006.
- [2] *Pijolat M. et al.* Large Qxf Product for HBAR Using Smart Cut™ Transfer of LiNbO₃ Thin Layers onto LiNbO₃ Substrate, Proc. of IEEE Int. Ultrason. Symp. Beijing, China. 2008. P. 201-204.
- [3] *Pijolat M. et al.* High Quality Factor Lithium Niobate Electrostrictive HBAR Resonators // Proc. of Joint IEEE Int. Freq. Contr. & Europ. Time Forum. San Francisco, USA. 2011. P. 1-3.
- [4] *Gachon D. et al.* P1H1 LiNbO₃-LiNbO₃ High Overtone Bulk Acoustic Resonator Exhibiting High Q.f Product // Proc. of IEEE Int. Ultrason. Symp. New York, USA. 2007 P. 1417-1420.
- [5] *Le Brizoual L. et al.* AlN/ZnO/Diamond Waveguiding Layer Acoustic Wave Structure: Theoretical and Experimental Results // *IEEE Trans. Ultrason. Ferroel. Freq. Contr.*, V. 57, N 8, P. 1818-1824, 2010.
- [7] *Lakin K.M., Kline G.R., McCarron K.T.* High-Q Microwave Acoustic Resonators and Filters // *IEEE Trans. Microw. Theor. Tecqniq.*, V. 41, N. 12, P. 2139-2146, 1993.
- [8] *Сорокин Б.П., Теличко А.В., Квашинин Г.М., Бормашов В.С., Бланк В.Д.* Исследования СВЧ акустического затухания в многочастотном резонаторе на объемных акустических волнах на основе синтетического монокристалла алмаза // *Акуст. Журн.*
- [9] *Сорокин Б.П., Квашинин Г.М., Теличко А.В., Гордеев Г.И., Бурков С.И., Бланк В.Д.* Исследования многочастотных СВЧ акустических резонаторов на основе слоистой пьезоэлектрической структуры «Me1/AlN/Me2/(100) алмаз» // *Акуст. Журн.*
- [10] *Бормашов В.С., Волков А.П., Голованов А.В., Гордеев Г.И., Квашинин Г.М., Сорокин Б.П., Теличко А.В.* Технология изготовления СВЧ пьезоэлектрических преобразователей на основе пленки AlN, нанесенной на подложку из синтетического монокристалла алмаза // *Известия ВУЗ'ов, серия Хим. хим. техн.* – 2014 - Т. 57, вып. 5 - С. 17-21.
- [11] *Sorokin B.P., Kvashnin G.M., Volkov A.P., Bormashov V.S., Aksenonkov V.V., Kuznetsov M.S., Gordeev G.I., Telichko A.V.* AlN/single crystalline diamond piezoelectric structure as a high overtone bulk acoustic resonator // *Appl. Phys. Lett.* – 2013 - V. 102, No 11 - P. 113507.
- [12] *R. Tabrizian, M. Rais-Zadeh, and F. Ayazi* // Effect of phonon interactions on limiting the *f.Q* product of micromechanical resonators, *Transducers 2009*, Denver, CO, USA, June 21-25, 2009.