

УДК 621.55

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В СИСТЕМЕ АДсорБИРОВАННАЯ ВОДА – НИОБАТ ЛИТИЯ

И.Г. Симаков, Ч.Ж. Гулгенов

TEMPERATURE INFLUENCE ON PARAMETERS OF SURFACE ACOUSTIC WAVES IN THE ADSORBED WATER – LITHIUM NIOBATE SYSTEM

I.G. Simakov, Ch.Zh. Gulgenov

Исследовано влияние температуры на затухание и изменение скорости поверхностных акустических волн в системе адсорбционный слой воды – подложка ниобата лития. Показано, что толщина адсорбционного слоя увеличивается с возрастанием степени влажности и зависит от соотношения температуры подложки и температуры пара. Определены значения температурного коэффициента времени задержки в акустическом тракте, нагруженном слоем адсорбированной воды. При отсутствии адсорбционного слоя температурный коэффициент времени задержки для данного акустического устройства является постоянной величиной. При наличии адсорбционного слоя он уменьшается с ростом толщины и проходит нулевое значение. Наличие нулевого температурного коэффициента времени задержки в системе адсорбированная вода – ниобат лития является замечательным свойством рассматриваемой слоистой системы, поскольку дает возможность точно определить толщину адсорбционного слоя и построить изотерму адсорбции пара на поверхности ниобата лития.

Temperature influence on damping of surface acoustic wave velocity and its change in the system “adsorbed water layer – lithium niobate substrate” is investigated. It is shown that the adsorption layer thickness increases with increase of a humidity level and depends on ratio of the substrate temperature and vapour temperature. The values of temperature coefficient of delay time in the acoustic path loaded with a layer of adsorbed water are determined. At the absence of the adsorbed water layer, the temperature coefficient of delay time for the given acoustic device is a constant. At the presence of the adsorbed water layer it decreases with the thickness increase and passes through zero. The presence of zero temperature coefficient of delay time in the system “adsorbed water – lithium niobate” is a remarkable property of examined stratified system as it enables us to determine exactly the adsorptive layer thickness and to construct an isotherm of a vapour adsorption on the lithium niobate surface.

Основным элементом акустоэлектронных устройств является линия задержки, представляющая собой подложку, вырезанную из пьезоэлектрического кристалла, на полированной поверхности которой нанесены два (или больше) встречно-штыревых преобразователя. Во влажной газовой среде на поверхности твердого тела образуется адсорбционный слой жидкости, что приводит к изменению условий распространения поверхностной акустической волны, и, следовательно, к изменению параметров волны. Содержание влаги в атмосфере и адсорбционные процессы на поверхности твердого тела зависят от температуры. В настоящее время влияние температуры на параметры акустоэлектронных устройств в основном известно [1, 2]. Однако взаимодействие поверхностных акустических волн (ПАВ) со слоем адсорбированной влаги при комплексном влиянии температуры и влажности газовой среды остается практически не изученным.

Скорость ПАВ зависит от температуры системы, в которой она распространяется и толщины адсорбционного слоя $V_S=f(T, h)$. Толщина адсорбционного слоя зависит от относительной влажности газовой среды, над которой расположена подложка $h=f(P/P_S)$. Используя уравнение Клайперона–Клаузиуса $\ln(P/P_S)=(H\Delta T)/(RT^2)$ мы получаем, что толщина слоя также зависит от температуры $h=f(T)$, и $V_S=f(T, h(T))$. Настоящая работа посвящена изучению влияния температуры на параметры поверхностной акустической волны в системе адсорбированная вода – ниобат лития.

В слоистой структуре, образованной пьезоэлектрической подложкой и слоем адсорбированной воды, имеет место дисперсия ПАВ. Дисперсионное уравнение условно можно разделить на части, учи-

тывающие механическую природу A и электрическую природу возмущений B . При малой толщине жидкого слоя h по сравнению с длиной поверхностной волны λ механические и электрические возмущения могут быть учтены независимо. Было получено простое выражение при условии $h \ll \lambda$, которое в линейном приближении связывает относительное изменение скорости ПАВ с нормализованной толщиной жидкого слоя [3]:

$$-\frac{\Delta V}{V} = (A+B) \frac{h}{\lambda} = \left(\frac{\rho_f V_f}{\rho_s V_s} \operatorname{tg} \theta + \frac{\pi K^2 \varepsilon_p \varepsilon_f}{(\varepsilon_p + 1)^2} \right) \cdot \frac{h}{\lambda}, \quad (1)$$

где ρ_f и ρ_s – плотность жидкости и твердого тела, соответственно; $\theta = \arccos(V_f/V_s)$ – угол, под которым звуковые волны распространяются в жидкости; V_f – скорость звука в жидкости; V_s – скорость поверхностной волны, ε_p , ε_f – относительные диэлектрические проницаемости, соответственно, пьезоэлектрика и жидкости, K – коэффициент электромеханической связи.

Для измерения затухания и скорости ПАВ использовали фазо-интерференционный метод [3, 5]. Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

На излучающий преобразователь 1' линии задержки подается сигнал с выхода генератора высокой частоты 1. Задержанный сигнал с приемного преобразователя 2' поступает на вход усилителя 4. Одновременно на вход усилителя подается сигнал, ослабленный аттенуатором 3, амплитуда которого уменьшена до амплитуды задержанного сигнала. Прямой и задержанный сигналы интерферируют. Суммарный сигнал, пройдя усилитель 4, попадает на вход осциллографа или другого регистрирующего устройства 5 (рис. 1). В результате интерференции

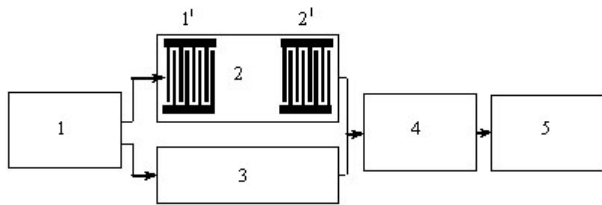


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения малых изменений затухания и скорости поверхностных акустических волн.

величина суммарного сигнала зависит как от соотношения фаз взаимодействующих сигналов, так и от соотношения их амплитуд. Баланс амплитуд достигается регулировкой аттенюатора, а баланс фаз – перестройкой частоты генератора. Генератор настраивается на частоту интерференционного минимума.

Любое изменение состояния поверхности и приповерхностной области подложки приведет к изменению условий распространения ПАВ. В общем случае изменится скорость и амплитуда ПАВ, следовательно, изменится частота интерференционного минимума. Ее новое значение регистрируется частотомером. Изменение скорости ПАВ определяется из условия $\Delta v/v = \Delta f/f$, а изменение времени задержки $\partial\tau/\tau = -\partial f/f$. Затухание определяется по величине остаточного, после подстройки частоты минимума, сигнала. Величина изменения затухания определяется аттенюатором.

Измерения производились при следующих условиях: подложка LiNbO_3 помещалась над поверхностью дважды дистиллированной воды, температура которой составляла 20°C ; температура подложки варьировалась в пределах $18\text{--}30^\circ\text{C}$. Измеряемыми акустическими параметрами были изменение затухания ПАВ в результате адсорбции пара и изменение частоты интерференционного минимума, которое пересчитывалось в изменение времени задержки.

Изменение затухания в зависимости от температуры приведено на рис. 2. Кривая затухания ПАВ при охлаждении подложки в диапазоне температур от 30 до 20°C монотонно возрастает с постоянным увеличением наклона. Изменение затухания составляет ~ 6 дБ/см. Поскольку затухание ПАВ пропорционально толщине жидкого слоя,

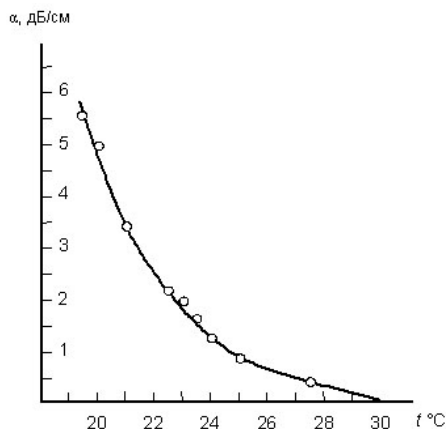


Рис. 2. Температурная зависимость затухания ПАВ.

характер затухания свидетельствует о монотонном возрастании толщины адсорбционного слоя при понижении температуры подложки. Это продолжается вплоть до образования пленки конденсата в виде капель с объемными свойствами воды. Затухание при наличии пленки конденсата увеличивается в десятки раз.

На рис. 3 представлены температурные зависимости изменения времени задержки. Кривая 1 соответствует относительному изменению времени задержки при адсорбции влаги на поверхности ниобата лития $\Delta\tau/\tau(T, h)$. Она имеет характерный максимум при нулевом значении изменения времени задержки ($\Delta\tau = \tau - \tau_m$). Кривая 2 отвечает случаю свободной поверхности $\Delta\tau/\tau(T)$. Зависимость от температуры разностного значения $\Delta\tau/\tau(T, h) - \Delta\tau/\tau(T) = \Delta V/V$ представлена кривой 3 относительного изменения скорости ПАВ, обусловленного влиянием жидкого слоя. Из кривой следует, что скорость ПАВ монотонно уменьшается при охлаждении подложки в результате увеличения толщины адсорбционного слоя.

Комплексное влияние адсорбционного слоя и вариаций температуры подложки приводит к изменению условий распространения упругих поверхностных волн. Меняются линейные размеры подложки, изменяется скорость ПАВ. Кроме того, на поверхности звукопровода формируется жидкий слой, толщина которого также зависит от температуры. Это выражается в изменении температурного коэффициента времени задержки ζ , который при отсутствии жидкого слоя имеет следующий вид [3]:

$$\zeta = \frac{1}{\tau} \frac{\partial \tau}{\partial T} = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial T} - \frac{1}{V_s} \frac{\partial V_s}{\partial T} = \alpha_t - \frac{1}{V_s} \frac{\partial V_s}{\partial T}. \quad (2)$$

Фактически он определяется температурным коэффициентом скорости $\partial V_s/(V_s \cdot \partial T)$ и коэффициентом теплового расширения подложки $\alpha_t = \partial L/(L \cdot \partial T)$ (L – расстояние между преобразователями). При наличии жидкого слоя скорость ПАВ зависит как от температуры подложки, так и от толщины слоя адсорбированной жидкости.

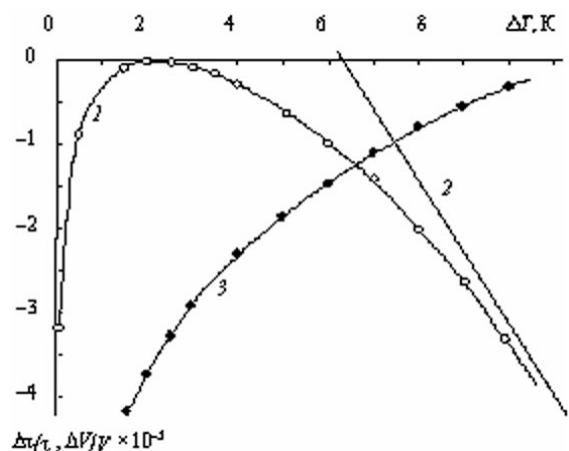


Рис. 3. Температурные зависимости относительного изменения следующих величин: времени задержки при наличии адсорбционного слоя (1), времени задержки при отсутствии адсорбционного слоя (2), скорости ПАВ под воздействием жидкого слоя (3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

При некоторой толщине адсорбционного слоя изменение температурного коэффициента времени задержки самой подложки может быть скомпенсировано изменением скорости ПАВ в слоистой структуре. В результате температурный коэффициент времени задержки при температуре T_m равен нулю.

Толщину адсорбционного слоя при температуре T_m , соответствующей для подложки ниобата лития нулевому значению $\zeta(T, h)=0$, можно определить из условия равенства температурного коэффициента времени задержки (при отсутствии слоя) и относительно изменения скорости ПАВ под воздействием слоя:

$$h_m = \frac{\lambda \Delta T \partial \tau}{\tau (A + B) \partial T} = \frac{\zeta \lambda \Delta T}{(A + B)}, \quad (3)$$

где A и B могут быть найдены из выражения (1) при температуре T_m . Значение толщины адсорбционного слоя при некоторой соответствующей температуре T_m величине давления пара, может служить в качестве опорной точки, позволяет определить толщину слоя в других точках и прокалибровать изотерму адсорбции $h=f(p/p_s)|T$.

Таким образом, показано, что изучение влияния температуры на параметры поверхностных акустических волн в системе адсорбированная вода – ниобат лития позволяет исследовать полимолекулярную адсорбцию пара. Наличие нулевого температурного коэффициента времени задержки в системе адсорбированная вода – ниобат лития является замечательным свойством рассматриваемой слоистой системы, поскольку дает возможность точно определить толщину адсорбционного слоя и построить изотерму адсорбции пара на поверхности ниобата лития. Приведенный выше анализ влияния адсорбции пара воды на теплофизические параметры ПАВ вполне может быть распространен на другие полярные жидкости, образующие граничные слои на поверхности твердых тел, которые обладают положительным температурным коэффициентом времени задержки.

1. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981. 288 с.

2. Бирюков С.В., Гуляев Ю.В., Крылов В.В., Плесский В.П. Поверхностные акустические волны в неоднородных средах. М.: Наука, 1991. 416 с.

3. Доржин Г.Б., Симаков И.Г. Акустическое исследование адсорбированных слоев жидкостей // Акуст. журн. 2002. Т. 48, № 4. С. 499–503.

4. Балакирев М.К., Гишинский И.А. Волны в пьезокристаллах. Новосибирск: Наука, 1982. 240 с.

5. Симаков И.Г., Доржин Г.Б. Определение малых изменений скорости и затухания поверхностных акустических волн // Сб. трудов XIII сессии РАО. 2003. Т. 1. С. 113–116.

6. Чураев Н.В. Тонкие слои жидкостей // Коллоид. журн. 1996. Т. 58, № 6. С. 725–737.

Отдел физических проблем БНЦ СО РАН, Улан-Удэ.