

УДК 621.326

**Ілля Савенко, студент**

Національний технічний університет “Київський політехнічний інститут  
ім. І. Сікорського”

### **ВПЛИВ ПРОМІЖНОГО СПОЛУЧНОГО ШАРУ CR-AU-IN-AU-CR НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТООПТИЧНОГО МОДУЛЯТОРА**

Представлені дослідження впливу ширини проміжного сполучного шару Cr-Au-In-Au-Cr для ніобату літію та парателуриту на діапазон робочих частот. Вперше для приєднання пьезоперетворювача з ніобата літію до світлозвукопроводу з парателлурита використано послідовне напилення атомів золота, а потім атомів індію, причому напилення півки In проводиться і на кристал парателлурита, і на пьезопластинку без развакуумірювання установки для холодної дифузійної зварювання. Ця технологія є перспективною при виробництві електричних схем модуляторів, дефлекторів, фільтрів і процесорів, що мають широкий спектр застосування в науці, народному господарстві, медицині і обороною промисловості.

Ключові слова: акустооптичний фільтр, світлозвукопровід, пьезоперетворювач, парателлурит, ніобат літію, вакуумне холодне дифузійне зварювання, коефіцієнт стоячесті хвилі, акустичний імпеданс, інтердифузія атомів, сполучні нанощари.

**Ilia Savenko**

### **INFLUENCE INTERMEDIATE BINDER LAYER CR-AU-IN-AU-CR ON ACOUSTO-OPTIC MODULATORS CHARACTERISTICS**

Presented study the influence width intermediate binder layer Cr-Au-In-Au-Cr for lithium niobate and paratellurite a range of operating frequencies.

Keywords: acousto-optical filter, cold vacuum diffusion bonding, connecting nanolayers, paratellurite, lithium niobate

Виготовлення акустооптичного елемента методом вакуумної інтердифузії атомів в нанощарах золота-індію складається з двох технологічних етапів. На першому етапі здійснюється вакуумне напилення шарів золота на кристал і пьезопластинку методом магнетронного розпилення зі швидкістю 0,05-0,1 нм в сек. Товщина напилюваного золота 50-100 нм. Золото напилюється на підшар хрому товщиною 10-30 нм.

На другому етапі кристал і пьезопластинку переміщують під вакуумний прес і на них одночасно розпилюється індій зі швидкістю 0,2-0,3 нм в сек. Після розпилення кристал і пьезопластинку спресовуються в вакуумі і витримуються під тиском понад 50-100 кг / см<sup>2</sup>, протягом декількох десятків хвилин до повного завершення хімічної реакції і утворення стабільного з'єднання.

Таким чином утворюється сполучний шар Cr-Au-In-AuCr товщиною 100-300 нм. Збільшення сумарної товщини сполучних шарів зменшує найважливіший параметр акустооптичного модулятора - діапазон робочих частот або широкополосність. З іншого боку, зменшення сумарної товщини сполучних шарів погіршує їх електропровідність, а також зменшує надійність роботи акустооптичного модулятора.

Суттєвою технічною проблемою з товстими шарами є завдання електричного узгодження. Відомо, що для приладів з надлишковим шаром індію характерні високі втрати акустичної енергії в шарі. В цьому випадку, при електричному узгодженні імпедансів пьезоперетворювача, навіть використання найсучаснішої метрологічної

апаратури (такої як векторні аналізатори ланцюгів Agilent) не дає можливості визначити, яка частина акустичної енергії потрапила в кристал, а яка частина поглинулася сполучним шаром. В результаті акустооптичний модулятор може бути формально узгоджений з заданим коефіцієнтом стоячесті хвилі в широкому діапазоні частот, але не тільки на опір випромінювання звуку в кристал, але і на опір втрат.

Іншим граничним випадком, який представляє практичний інтерес, є використання ультратонких шарів. Розроблений алгоритм обчислення комплексного вхідного електричного імпедансу односторонньо навантаженого пьезоперетворювача з урахуванням параметрів проміжного сполучного шару виявляється ефективним для розгляду і цього граничного випадку. Розрахунки показують, що товщина ультратонкого сполучного шару між пьезопластинкою і акустооптичним кристалом дійсно впливає на широкополосність приладу.

Пьезоперетворювач акустооптичного модулятору є односторонньо навантаженою коливальною системою, в нашому конкретному випадку навантаженою на акустооптичний кристал. Діапазон ультразвукових акустичних коливань, які пьезоперетворювач ефективно передає в кристал, визначається величиною навантаженої добротності пьезоперетворювача  $Q_p$ . Пьезоперетворювач ефективно передає акустичне випромінювання в кристал, якщо його навантажена добротність  $Q_p$  мала, і отже, ширина антирезонансної кривої активної складової, або діапазон частот, великий. Іншим граничним випадком є відсутність передачі акустичного випромінювання в кристал.

Тут добротність пьезоперетворювача велика, ширина антирезонанса мала. Вона визначається внутрішніми втратами в пьезопластинці і електродах.

На рис. 1 показана залежність дійсної  $R(f)$  частини вхідного імпедансу від частоти в декартовій системі координат для різної товщини сполучного шару. Залежність розрахована для комбінації пьезоперетворювач - акустооптичний середовище: ніобат літію  $\text{LiNbO}_3$   $36^\circ$  YZ-зрізу, що формує поздовжню акустичну хвилю, і парателлурита  $\text{TeO}_2$  вздовж напрямку осі Z. Такий випадок акустооптичного взаємодії широко використовується в акустооптичних модуляторах. У розрахунках прийнято:

$k = 0.49$ ,  $V_0 = 7.2 \cdot 10^5 \frac{\text{cm}}{\text{сек}}$ ,  $V_m = 4.2 \cdot 10^5 \frac{\text{cm}}{\text{сек}}$ ,  $V_b = 3.0 \cdot 10^5 \frac{\text{cm}}{\text{сек}}$ , та три різних значення товщини проміжного шару  $l_b = 10$  нм,  $l_b = 100$  нм і  $l_b = 300$  нм.

З Рис. 1 видно, що навантажена добротність пьезоперетворювача в разі проміжного шару завтовшки 100 нм більше, ніж у випадку більш тонкого шару 10 нм. Відповідно, ширина смуги ефективно проходять в акустооптичний кристал акустичних частот менше на 20%. У разі проміжного шару завтовшки 300 нм, ширина смуги акустичних частот, що ефективно проходять в акустооптичний кристал зменшується на третину: 32%. Рис. 1 виявляє і інші особливості, пов'язані зі зміною товщини сполучного шару, наприклад: зростання активної складовою на частоті антирезонанса в разі (б) на 10% по порівняно з випадком (а), і явище зсуву частоти антирезонанса з 430 МГц в разі (б) до 460 МГц в разі (а).

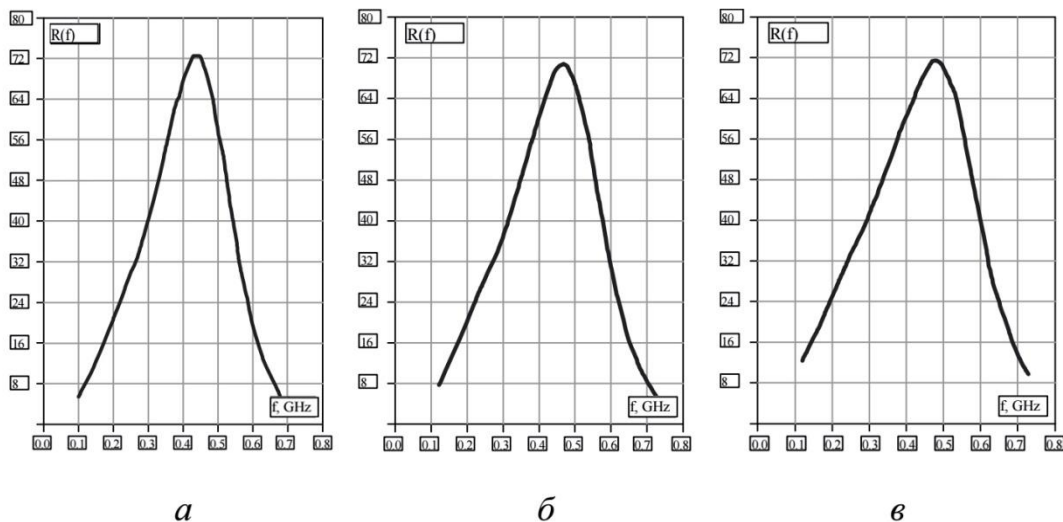


Рис. 1. Залежність дійсної  $R$  частини вхідного імпедансу пьезоперетворювача від частоти. (А) товщина сполучного шару 10 нм; (Б) товщина сполучного шару 100 нм; (В) товщина сполучного шару 300 нм.

Якщо зсув частоти антирезонанса є ефектом нейтральним і може бути враховано розрахунковим шляхом, то ефект звуження смуги переданих в кристал акустичних частот при застосуванні більш товстих шарів є ефектом негативним, що погіршує таку найважливішу характеристику будь-якого акустооптичного пристрою, як широкополосність. Зі сказаного випливає, що слід формувати як можна більш тонкі проміжні сполучні шари.

Була відпрацьована технологія холодного інтердифузійного зварювання світлозвукопровода і пьезоперетворювача через проміжне напilenня наночарами індію і золота з'єднаних в вакуумі.

### Література

1. А.Н. Торгашин, О.Г. Габараев. Технология оптического контакта и его использование в акустооптике. В сборнике «Акустооптические приборы и их применение», СОГУ, г. Орджоникидзе, СССР, с.56-62 (1989).
2. V.Ya. Molchanov and O.Yu. Makarov, Phenomenological method for broadband electrical matching of acousto-optical device piezotransducers // J. Opt. Eng. 38, No. 7, 1999. – P. 1127-1135.