

3. Розглянуті моделі пропонується використовувати при розробці та виготовленні (вимірювання опору) мікроелектронних пристроїв.

1. Данчишин І.В. Розробка методів та засобів забезпечення технологічності МОН-структур мікроелектронних пристроїв в умовах автоматизованого виробництва. – Дис. на здоб. наук. ст. к. т. н. – Чернівці. – 2000. – С. 32–33. 2. David A.Horsley and oth. Batch Transfer of Microstructures Using Flip-Chip Solder // *IEEE Journal of microelectromechanical systems*, vol.8, No.1, march 1999. – P.27–33. 3. Хольм Р. Электрические контакты / Пер с англ. – М., 1961. 4. Бурова Н.Н. О сопротивлении микроконтактов между тонкими пленками и проводниками // *Изв. вузов, Приборостроение*. – 1972. – №2. – С.117–122. 5. Евтеев Ф.Е., Бурова Н.Н. Свойства микроконтактов, получаемых термокомпрессионным методом // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 1967. – №11. – С.117–123. 6. Мазур А.И. и др. Процессы сварки и пайки в производстве полупроводниковых приборов. – М., 1981. 7. Дячок Д.Т. О сопротивлении контактного соединения микропровода и тонкопленочного проводника // *Вопросы радиоэлектроники. Сер.ОВР*. – 1988. – Вып.12. – С.112–115. 8. Кресин О.М., Харинский А.Л. Математический анализ тонкопленочного контакта // *Вопросы радиоэлектроники. Сер. ДиКА*. – 1964. – Вып. 5. – С.15. 9. Цб.30007-01 35 01. Специальный язык контроля (СЯК). Описание языка. – 1983. 10. Ющук С.И., Попенко А.М. Измерение электросопротивления тонкопленочных контактов // *Заводская лаборатория*. – 1973. – №4. – С.450. 11. А.с. 1250982 (СССР). Способ определения сопротивления контактного соединения проволоки и тонкой пленки / Д.Т. Дячок. Оpubл. в БИ. – 1986. – №30.

УДК 621.3.049.77:539:319

Михайло Матвійків

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій

ВПЛИВ ВНУТРІШНІХ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ НА ВЛАСТИВОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЛІНІЙ ЗАТРИМКИ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

© Матвійків Михайло, 2004

Досліджено вплив внутрішніх механічних напружень на час затримки сигналу, форму імпульсного відгуку та амплітудно-частотної характеристики ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях. Показано, що внутрішні механічні напруження змінюють швидкість розповсюдження акустичної хвилі і за рахунок цього змінюють час затримки сигналу, форму імпульсного відгуку і амплітудно-частотної характеристики. Запропоновано враховувати ці деформаційні ефекти при конструюванні ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях.

The article investigates the influence of internal mechanical tensions on the signal delay period, the form of impulse response and amplitude-frequency characteristic of hypersonic surface acoustic waves delay lines. It is shown that internal mechanical tensions change the velocity of acoustic wave and due to this change the delay period of signal, the form of impulse response and amplitude-frequency characteristic. It is suggested to pay attention to such deformation effects when constructing hypersonic surface acoustic waves delay lines.

Постановка задачі

Як відомо, лінії затримки широко застосовуються в різних видах електронної техніки, в тому числі в обчислювальній техніці, апаратурі зв’язку, радіолокаційних та навігаційних системах тощо.

Від них вимагається забезпечувати необхідний час затримки, його незмінність в процесі роботи і при зміні температури і часу, малі спотворення сигналів, конструктивну та технологічну сумісність з інтегрованою елементною базою. Більшість вказаних вимог задовольняють лінії затримки на поверхневих акустичних хвилях. Але вони спотворюють затримані сигнали. Тому дослідження властивостей ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях, виявлення та усунення причин спотворень затримки сигналів є актуальним завданням.

Аналіз останніх досягнень

Аналіз літератури показав, що лініям затримки на поверхневих акустичних хвилях приділяється належна увага. В [1, 2] зазначено позитивні терміни таких елементів: великий час затримки (десятки мілісекунд), високі робочі частоти (≈ 50 МГц), малі ваго-габаритні показники. Автори [3–4] звертають увагу на недоліки акустичних ліній затримки на поверхневих хвилях: значне загасання (20–70 дБ) та істотні спотворення затриманих сигналів – їх імпульсного відгуку і амплітудно-частотної характеристики. Показано, що спотворення викликають п'ять основних чинників. До них відносяться: пряме проходження сигналу, обумовлене наводкою, і чотири вторинні акустичні ефекти: багаторазове відбивання поверхневих акустичних хвиль від вхідного і вихідного ґраткових перетворювачів, яке є причиною появи трьохзаходкового сигналу; відбивання поверхневої акустичної хвилі від штирків ґраткових перетворювачів (найбільше від штирків вхідного ґраткового перетворювача); розповсюдження об'ємної акустичної хвилі; багаторазове відбивання поверхневої акустичної хвилі від торців звукопроводу.

Автори вказаних робіт зазначають, що основний сигнал затримується ультразвуковою лінією затримки на поверхневих акустичних хвилях на час

$$T = \frac{L}{V_a}, \quad (1)$$

де L – відстань між вхідними та вихідними зустрічно штурмовими перетворювачами; V_a – швидкість акустичної хвилі.

Незатриманий сигнал 1 (рис. 1), обумовлений прямою наводкою, на імпульсному відгуку розміщується перед основним сигналом 2.

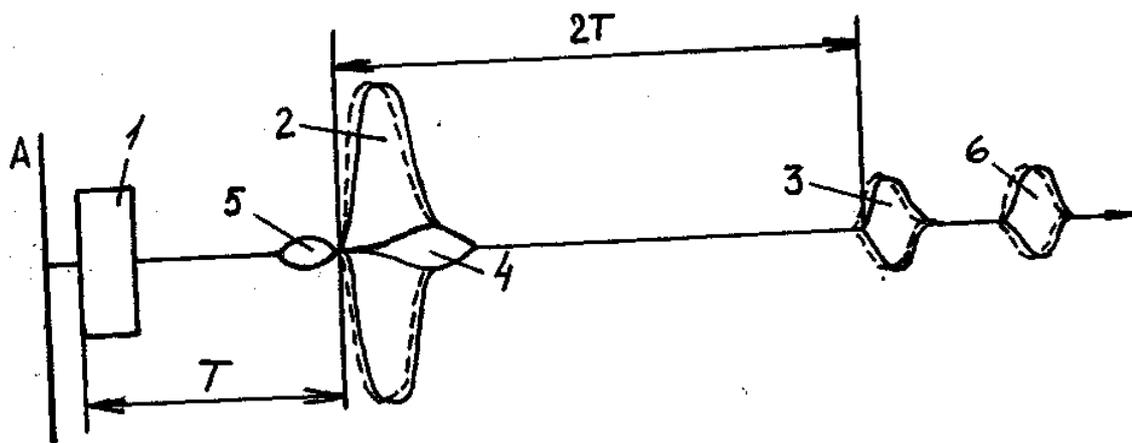


Рис. 1. Імпульсний відгук ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях:
 1 – незатриманий сигнал прямого проходження; 2 – основний сигнал, затриманий на час T ;
 3 – трьохзахідний сигнал; 4 – сигнал, обумовлений відбиванням поверхневих акустичних хвиль від штирків-перетворювачів; 5 – сигнал, викликаний розповсюдженням об'ємної акустичної хвилі; 6 – сигнал, викликаний відбиванням поверхневої акустичної хвилі від торців звукопроводу. Пунктиром показано зміщення сигналів під дією стискуючих внутрішніх механічних напружень

Трьохзахідний сигнал 3, викликаний багаторазовим відбиванням поверхневих акустичних хвиль від вхідного та вихідного ґраткових перетворювачів, виникає на відстані $2T$ від основного затриманого сигналу. Сигнал 4, зумовлений відбиванням поверхневих акустичних хвиль від штирків перетворювачів, розміщується всередині основного затриманого сигналу 2. Сигнал 5, викликаний розповсюдженням між вхідним та вихідним зустрічно-шторковими перетворювачами об'ємної акустичної хвилі, з більшою швидкістю розповсюдження, з'являється перед основним затриманим сигналом 2. Сигнал 6, зумовлений відбиванням акустичної поверхневої хвилі від торців звукопроводу, розміщений за трьохзахідним сигналом.

Усі зазначені чинники впливають також на амплітудно-частотну характеристику (рис. 2).

Так, наприклад, наявність незатриманого сигналу прямого проходження приводить до посічення амплітудно-частотної характеристики в усій смузі частот. Присутність трьохзахідного сигналу викликає посічення амплітудно-частотної характеристики в області центральної частоти 2. Проходження між перетворювачами об'ємної хвилі викликає збільшення бокових пелюсток 3 у високочастотній області (справа від f_0). Відбивання акустичної хвилі від штирків-перетворювачів вносить додаткове посічення вершини амплітудно-частотної характеристики в низькочастотній області (зліва від f_0). Іншим чинником, в тому числі і внутрішнім механічним напруженням, автори визначених робіт уваги не приділяють.

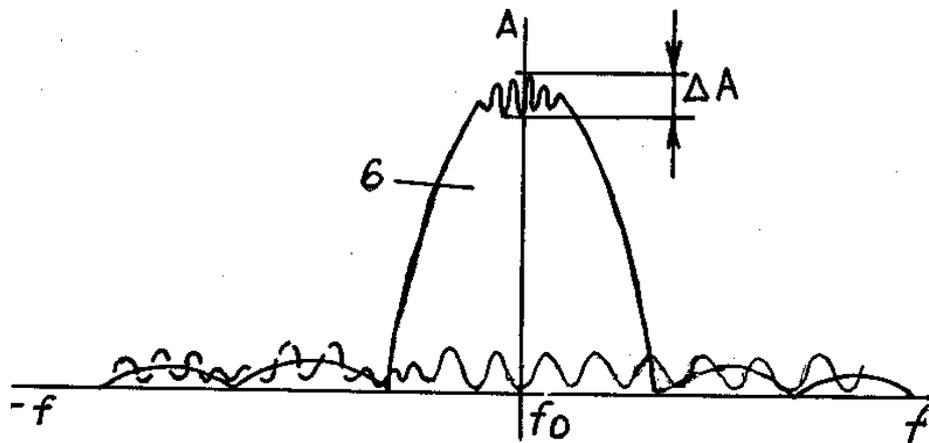


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика ультразвукової лінії затримки поверхневих акустичних хвиль: 1, 2, 3 – спотворення, викликані наявністю сигналів прямого проходження, трьохзахідного і обумовленого об'ємною акустичною хвилею

Мета роботи – Виявлення напруженого стану звукопроводу та дослідження впливу внутрішніх механічних напружень на властивості ультразвукових ліній затримки сигналу.

Результати наукових досліджень

Наші дослідження відомим методом прогину підкладки [5, 6, 8] показують, що звукопроводи ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях знаходяться під дією стискуючих внутрішніх механічних напружень величиною $10^{-7} \dots 10^{-9}$ Па. Виникають вони при механічній обробці підкладки (їх шліфуванні та папіруванні) і в результаті дії розтягуючих механічних напружень в електродах зустрічно-штиркових перетворювачів.

Внутрішні механічні напруження, змінюючи відстані між атомами звукопроводу, змінюють енергію взаємодії між ними, в результаті чого змінюються усі параметри матеріалу, в тому числі і модуль Юнга E , і густина ρ , від яких залежить швидкість розповсюдження акустичних хвиль V_a [7]:

$$V_a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (2)$$

Для механічного напруженого звукопроводу

$$V_{a\sigma} = \sqrt{\frac{E\sigma}{\rho\sigma}}. \quad (2')$$

Індекс σ у виразі (2') означає напружений стан матеріалу.

Беручи до уваги основний механізм дії внутрішніх механічних напружень, який охоплює зміну відстані між атомами, молекулами, іонами і пов'язану з нею зміну об'єму тіла і сили взаємодії частинок, а також наявність плоского напруженого стану, за яким відносні деформації в напрямку осей OX і OY , розміщених в площині звукопроводу, є рівні між собою, можна записати, що

$$E\sigma = E - \sigma, \quad (3)$$

$$\rho\sigma = \frac{\rho}{(1+\varepsilon_x)^2 (1-2\nu\varepsilon_x)}, \quad (4)$$

де ε_x – пружна відносна деформація звукопроводу в його площині; ν – коефіцієнт Пуассона.

З врахуванням (3, 4) вираз (2) набуває такого вигляду:

$$v_{a\sigma} = \sqrt{\frac{(E-\sigma)(1+\varepsilon_x)^2(1-2\nu\varepsilon_x)}{\rho}}. \quad (5)$$

Оцінимо величину деформаційної зміни швидкості акустичної хвилі. За відсутності внутрішніх механічних напружень, коли $\sigma = 0$, $E \approx 10^{11}$ Па, $\nu = 0,3$, $\rho \approx 10^3$ кг/м³, $v_a = 10^4$ м/с. За наявності стискуючих механічних напружень $\sigma \approx -10^9$ Па, $\varepsilon_x \approx 0,01$, $\nu = 0,3$, $v_{a\sigma} = 10020$ м/с, тобто швидкість акустичної хвилі зростає на 0,2 %. Відповідно зміниться і час затримки сигналу $\tau_{3\sigma}$:

$$\tau_{3\sigma} = \frac{L\sigma}{v_{a\sigma}} = \frac{L - \varepsilon_x L}{\sqrt{\frac{(E-\sigma)(1+\varepsilon_x)^2(1-2\nu\varepsilon_x)}{\rho}}} \quad (6)$$

де $\tau_{3\sigma}$ – час затримки сигналу механічно напруженим звукопроводом; L_σ – довжина механічно напруженого звукопроводу.

Оцінимо величину деформаційної зміни часу затримки. За відсутності внутрішніх механічних напружень $\sigma = 0$ довжина звукопроводу $L = 10 \cdot 10^{-3}$ м і $v_a = 10^4$ м/с $\tau_3 = 1$ мкс. За наявності внутрішніх механічних напружень величина $\sigma = -10^9$ Па, $L_{a\sigma} = 10,1 \cdot 10^{-3}$ м, $\nu = 10020$ м/с $\tau = 0,99$ мкс, тобто час затримки сигналу зменшиться приблизно на 0,1 %.

Експериментальну перевірку деформаційних змін часу затримки з використанням пристрою для штучного створення механічних напружень методом прогину звукопроводу підтвердили розрахунки.

Разом з тим необхідно зазначити, що для виробників ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях має значення не тільки деформаційна зміна часу затримки, але і поява хибних сигналів на імпульсному відгуку і деформаційних спотворень амплітудо-частотної характеристики. З огляду на деформаційне збільшення стискуючими внутрішніми механічними напруженнями швидкості поверхневої акустичної хвилі, хибні сигнали на імпульсному відгуку зміщуються в бік меншого часу за винятком двох – сигналу прямого проходження 1 і сигналу, викликаного розповсюдженням об'ємної акустичної хвилі 5, оскільки швидкості формування цих хибних сигналів від внутрішніх механічних напружень не залежать.

Відповідні деформаційні зміни відбуваються з амплітудо-частотною характеристикою (рис. 2). Деформаційне збільшення стискуючими внутрішніми механічними напруженнями швидкості акустичної хвилі призводить до збільшення частоти пульсацій, викликаних хибними сигналами.

Боротьбу з цими деформаційними ефектами можна вести шляхом послаблення напруженого стану звукопроводу. Для цього може бути використано набір конструкторських та технологічних методів, в тому числі вибір матеріалу звукопроводу, матеріалів ґраткових перетворювачів, відгалужувачів, відбивачів, п'єзоелектричних покриттів, їх товщини, режимів механічної обробки підкладок та нанесення покриттів тощо. Детальніша інформація про деформаційні ефекти та способи їх послаблення наведена в [7].

Висновки

Проведені дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. Поверхневий шар звукопроводів ультразвукових ліній затримки перебуває в напруженому стані. Внутрішні механічні напруження мають стискуючий характер і величину $10^6 \dots 10^9$ Па.
2. Стискуючі внутрішні механічні напруження збільшують швидкість розповсюдження поверхневих акустичних хвиль і за рахунок цього зменшують час затримки сигналу.
3. Стискуючі внутрішні механічні напруження на імпульсному відгуку зміщують хибні сигнали в бік меншого часу.
4. Стискуючі внутрішні механічні напруження на амплітудо-частотній характеристиці збільшують частоту пульсацій.
5. Боротьба з деформаційними ефектами передбачає послаблення напруженого стану звукопроводу, для чого можуть бути використані як конструкторські, так і технологічні методи.

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник / За ред. проф. Ю.Л. Мороза, Е.А. Мачуського, І.В. – К., 1999. 2. Фильтры на поверхностных акустических волнах / Г. Мэттьюз // Пер. с англ. Г.Б. Зворно; Под ред. В.Б. Ахмамбетова. – М., 1981. 3. Речицкий В.Н. Акустоэлектронные радиокомпоненты. – М., 1987. 4. Коринский С.С. Устройства обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах. – М., 1985. 5. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П. Физико-химические основы технологии микроэлектроники. – М., 1979. 6. Палатник А.С., Сорокин В.К. Материаловедение в микроэлектронике. – М., 1978. 7. Матвийкив М.Д. Паразитные деформационные эффекты в гетероструктурах интегральных схем. Деп. в ГНТБ Украины, № 554. Укр.96. 8. Сергеев В.С., Кузнецов С.А., Захаров Н.П., Летячи В.А. Напряжения и деформации в элементах микросхем. – М., 1987.