

Akusztikus felületi hullámú TV KF-szűrő gyakorlati megvalósítása

ANDRÁSI
ANDORNÉ*,
DR. BELEZNAJ
FERENC,
DR. PÜSPÖKI
SÁNDOR,
SERÉNYI MIKLÓS
MTA Műszaki Fizikai
Kutató Intézete

A hazai fejlesztésű akusztikus felületi hullámú TV KF-szűrő tervezési módszerét az [1] munkában ismertettük. Jelen cikkben a szűrő gyakorlati megvalósítását tárgyaljuk. Ennek során kitérünk a piezoelektromos hordozó tulajdonságaira, az eszköz működését kísérő zavaró hatások (másodlagos jelenségek) elnyomására, az interdigitális elektródarendszerek előállítási technológiájára és végül a kísérleti eredményekre [2, 3].

Piezoelektromos hordozó

Az ID átalakítók közepes frekvenciája egyrészt az elektródák távolságától, másrészt a piezoelektromos hordozón a felületi hullám terjedési sebességétől (hangsebesség) függ. Mivel a szűrő nem hangolható, szükséges, hogy adott alapanyag esetén a terjedési sebesség kívánt pontossággal ($\sim 5 \cdot 10^{-4}$) és időbeli stabilitással reprodukálható legyen. Ezért TV KF-szűrő célokra jelenleg csak egykristályos anyagok jöhetnek számításba, amelyek előállítási költsége lényegesen nagyobb, mint a piezoelektromos kerámiáké. A két leggyakrabban használt anyag a lítium-niobát (LiNbO_3) és a lítiumtantalát (LiTaO_3). Az előbbi nagy elektromechanikai csatolási állandóval, az utóbbi a frekvencia stabilitás szempontjából kedvezőbb hőmérsékleti együtthatóval tűnik ki. Sajnálatos módon a nagy mennyiségben rendelkezésre álló és viszonylag olcsóbb kvarc nem alkalmazható hordozóként. A kis elektromechanikai csatolási állandó az adott relatív sáv szélességnél ($\sim 15\%$) már túlságosan nagy beiktatási csillapítást okozna [4].

Tekintve, hogy import útján csak LiNbO_3 egykristály volt beszerezhető, továbbá, hogy a Kristályfizikai Kutató Laboratóriumban már 1974-ben foglalkoztak LiNbO_3 kísérleti növesztésével [5], ezt az alapanyagot választottuk piezoelektromos hordozóként. A két intézet közötti jó együttműködés lehetővé tette, hogy 1978-ban már hazai alapanyagot használjunk a fejlesztési munkákhoz [6, 7].

Az egykristály alapanyagú hordozók jellemzője, hogy az eszköz szempontjából érdekes fizikai tulajdonságok (pl. terjedési sebesség, elektromechanikai csatolási állandó) nemcsak a kristály kémiai összetételétől, hanem — az anizotrópia miatt — a felhasznált szelet orientáltságától is függ. Az általunk megvalósított szűrőknél az elektromechanikai csatolási állandó és a hullám diffrakció szempontjából kedvező Y kristálytani tengelyre merőleges felületet és a Z

hullám terjedési irányt választottuk. Az orientálás röntgendiffrakcióval, 1° pontossággal történt. Az Y—Z orientációnak megfelelő fontosabb anyagi állandókat az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Másodlagos jelenségek elnyomása a megvalósítás során

Tömbhullámok

A bemeneti átalakító a felületi hullámmal egyidejűleg nemkívánatos tömbhullámokat is gerjeszt [9]. A kimeneti átalakító ezeket a hullámokat is detektálja, így a zárótartományban a jelelnyomás lényegesen eltérhet a tervezettől. Ez a zavaró hatás elhanyagolhatóvá tehető az ún. sokelektrodás csatoló (multistrip coupler) alkalmazásával, amely a hullámterjedés útjába helyezett, egymástól független párhuzamos fémcsíkokból áll [10]. A sokelektrodás csatoló megtöri a felületi hullám terjedési irányát, így az adó- és a vevő-átalakítók által meghatározott terjedési tartományok nem esnek egybe (1. ábra).

1. táblázat

LiNbO_3 fontosabb anyagi állandói Y—Z orientáció esetén [8,15]

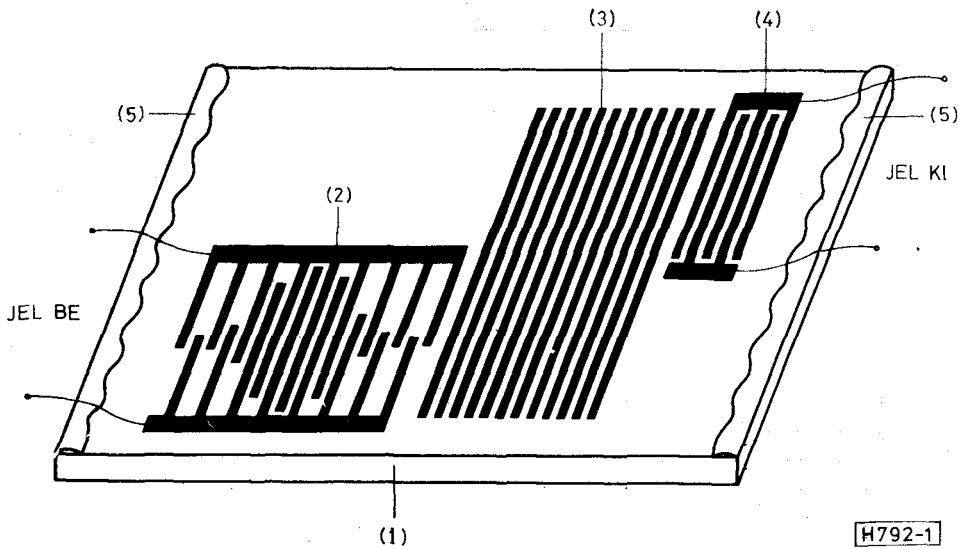
Hullámterjedési sebesség (v) [m/s]	3488
Elektrotechnikai csatolási állandó (k_0^2)	0,045
Anizotrópiát jellemző paraméter (γ)	-1,08
A késleltetési idő hőmérsékleti együtthatója, $(dT/dT)/\tau$ [ppm/°C]	94

Mivel a csatoló a tömbhullám energiájának csak egy kis hányadát, a felületi hullám energiáját pedig majdnem veszteségmentesen csatolja át, ezért a két hullámforma jó hatásfokkal szétválasztható. Az optimális energiatranszferhez szükséges elektródák száma fordítottan arányos az elektromechanikai csatolási állandóval [10]. Ezért alkalmazásuk elsősorban a nagy csatolási állandójú LiNbO_3 -nál előnyös, ahol az optimális elektródaszám ~ 140 -nek adódik. A sok-elektrodás csatoló alkalmazásán kívül a hordozó alját durvítottuk, hogy a tömbhullámokat minél jobban szétszórja.

Az ID átalakító elektródáitól származó reflexió

A szabad és a fémezett felületű piezoelektromos anyagokon terjedő hullámok sebessége különböző [11].

* Jelenlegi munkahelye: MTA Központi Fizikai Kutató Intézet



1. ábra. Sokelektrodás csatoló alkalmazása a tömbhullámok elnyomására:
 (1) piezoelektromos hordozó; (2) bemeneti ID átalakító; (3) sokelektrodás csatoló;
 (4) kimeneti ID átalakító; (5) hullám elnyelő közeg

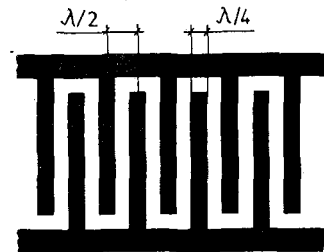
Ez a sebességkülönbség okozza, hogy az akusztikus hullám energiájának egy része az átalakító elektródáiról visszaverődik. E jelenség az egyszerű felépítésű elektróda geometriánál (2a. ábra) a frekvenciaválasz torzulását okozza, amely számottevő lehet a nagy elektromechanikai csatolási állandójú LiNbO_3 esetén. Az elektródák negyed hullámhossznyi távolságban történő felhasításával (2b. ábra) az effektus jelentősen csökkenthető, mert ekkor a reflektált hullámok gyengitik vagy kioltják egymást [12].

A hosszúsúlyozott bemeneti átalakítónál ez a probléma automatikusan megoldódik, mert az átalakító közepes frekvenciáját — a frekvenciaválasz szimmetrizálásakor — a hasznos jelátviteli sáv közepes frekvenciájának közel kétszeresére választottuk [1]. Így az átalakító struktúrája egy kvázi felhasított elektródarendszernek felel meg. A tényleges felhasítást csak a homogén kimeneti átalakítónál kell elvégezni.

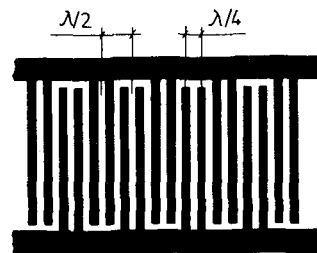
A hordozó végeiről történő reflexió

Egy ID elektródarendszer mindkét irányba sugároz, ezért akusztikus energia terjed nemcsak a vevő felé,

hanem a hordozó széle felé is. A vevő elektródarendszer az adó jelét csak részben alakítja elektromos jellé, ezért a felületi hullám energiájának egy része a vevő alatt a kristály szélére jut. Ezek a hullámok a kristály széléiről visszaverődnek és a direkt jelhez képest késve jutnak a vevőre. Hatásukra az átviteli karakterisztika torzulhat, ezért külön gondot kell fordítani elnyelésükre. Ennek érdekében a hordozó végeit olyan fizikai paraméterű műgyantával vonjuk be, amely viszonylag kis terjedési hosszon képes az akusztikus hullámok hatásos csillapítására. A műgyantával szemben támasztott másik követelmény az, hogy a hordozó — abszorbens anyag határfelületéről történő reflexió minimális legyen. A kialakított szűrőkonstrukciónál a visszaverődés mértékének csökkentése érdekében sem az abszorbens anyag



a.)



b.)

H792-2

2. ábra. Elektróda geometriák:

- a) egyszerű felépítésű elektródarendszer esetén,
 b) felhasított elektródarendszer esetén

határfelülete, sem a hordozó széle nem merőleges a hullámterjedés irányára.

Az akusztikus hullámfront torzulása

A változó hosszúságú elektródákból álló, egyszerű felépítésű hosszúsúlyozott elektródarendszer (3a. ábra) az akusztikus hullámfront torzulását idézi elő [13]. Ennek oka, hogy a hullámok a fémezett és nem fémezett felületeken eltérő sebességgel terjednek. Az effektust ún. „ál elektródák” alkalmazásával kompenzáljuk (3b. ábra).

A felületi hullámok diffrakciója

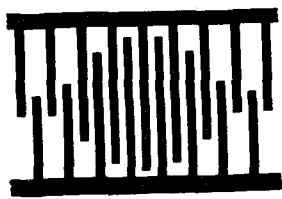
Kis apertúrájú (új hosszúságú) ID átalakítóknál a gerjesztett vagy a detektált felületi hullám a résen áthaladó fényhez hasonlóan diffrakciót szenved, melynek következtében amplitúdó- és fázishibák jönnek létre. Hossz-súlyozott átalakítók esetén a diffrakciós hibák nagysága az apertúra méretén kívül jelentősen függhet az elektródarendszer struktúrájától.

Számítások szerint izotróp piezoelektromos hordozó esetén az apertúra méretének legalább 20 hullámhossznyi méretűnek kell lennie [14]. Egykristályos hordozó esetén a diffrakció mértéke az elektródáknak a hullámhosszhoz viszonyított méretén kívül még a hullám terjedési irányától is függ. A kristály anizotrópiáját, valamint a hullámterjedés irányfüggése és a diffrakció közötti kapcsolatot az ún. anizotrópia-paraméter (γ) jellemzi [15]. Abban az esetben, amikor $\gamma = -1$, a diffrakciót a speciális anizotrópia kompenzálja. A valóságban természetesen ez soha nem valósul meg tökéletesen. Az általunk használt Y-Z orientációjú LiNbO₃ hordozó kedvező diffrakciós tulajdonságú mert $\gamma = -1,08$ (1. táblázat). Így a hossz-súlyozott bemeneti átalakító esetén 25, a súlyozatlan kimeneti átalakító esetén 15 hullámhossznyi apertúrát választva a diffrakciós hiba elhanyagolható volt. Az eltérő apertúrák alkalmazását a tömbhullámok elnyomására közbeiktatott sok-elektrodás csatoló tette lehetővé.

Kapacitív jelátcsatolás

A bemeneti és a kimeneti átalakító között kapacitív úton közvetlen jelátcsatolás jöhet létre. Ennek következtében jelentősen lecsökkenhetnek a csapdamélységek, hullámzások jöhetnek létre az amplitúdó- és futásiidő-karakterisztikákban. Ez a zavaró hatás a tok megfelelő kialakításával és a kimenet földszimmetrikus lezárásával (differenciál-erősítő alkalmazásával) elhanyagolhatóvá tehető.

Az itt felsorolt legfontosabb másodlagos jelenségek zavaró hatása együttesen jelentkeznek. Speciális mé-



a.)



b.)

H792-3

3. ábra. Hossz-súlyozott elektródarendszerek:
a) egyszerű felépítésű elektródarendszer,
b) „ál elektródák”-kal kiegészített elektródarendszer

résekkel a zavaró jeleket szétválasztottuk, és a fent leírt megoldások hatását külön-külön megvizsgáltuk. Ennek alapján lehetséges volt a teljes zavaró jelet a megengedhető szint alá csökkenteni. Ez a szint biztosítja, hogy a megvalósított szűrő karakterisztikái eleget tesznek az előírt tolerancia-sémának.

Az elektródarendszerek kialakítása

Mikroáramkörtől technológia szempontjából a problémát az jelenti, hogy viszonylag nagy felületet ($\sim 0,5 \text{ cm}^2$) kell hibamentesen megmunkálni. A $12 \mu\text{m}$ széles elektródáknak 1–4 mm hosszon kell zárlat- és szakadásmintesen futni. Az ilyen elektródák száma az eszközben eléri a háromszázat. Az integrált áramköröknél szokásos fogalmakat alkalmazva, a litográfia szempontjából ez LSI szintet jelent.

A tökéletes tapadás érdekében a fémréteg párologtatása előtt nagyon gondos tisztítást végeztünk, majd oxigénben való hőkezeléssel ($800 \text{ }^\circ\text{C}$, 60 perc) biztosítottuk, hogy a LiNbO₃ felületén ne keletkezzen a későbbi technológiai lépések során oxigénhiány. Az elektródák anyaga Al volt. A jó tapadás elérése szempontjából nagy jelentősége van a szubsztráthőmérsékletnek. Megállapítottuk, hogy min. $200 \text{ }^\circ\text{C}$ szükséges a megfelelő tulajdonságok beállításához.

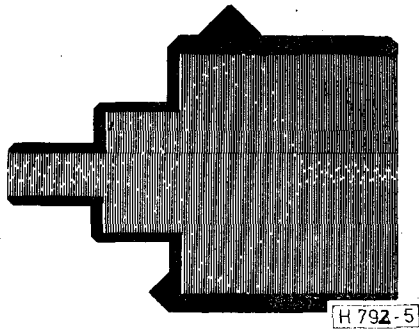
A fotolitográfiai munkákhoz 1350 H típusú lakkot használtunk. A marás a felvezető-technológiában ismert módon foszforsavban történt. A hibamentesség igénye miatt — minthogy csak kontakt fotolitográfiát volt módunkban alkalmazni — a maszkot minden egyes megvilágítás után gondosan tisztítani kellett. Ezért erre a célra csak króm vagy vasoxid maszkot tudunk alkalmazni, mert a fotoemuziós maszkok tisztítása körülményesebb.

A hordozón kialakított elektródarendszereket a 4. ábra szemlélteti. Az ábrán látható tizfilléres érme jól érzékelteti a tokozatlan szűrő méretét. A bemeneti átalakító, melyet egy nagyobb nagyításban az 5. ábra mutat, 162, a sokelektrodás csatoló 110, a kimeneti átalakító pedig 15 (felhasított) elektródát tartalmaz.



H792-4

4. ábra. A hordozón kialakított elektródarendszerek nagyított képe, balról jobbra: bemeneti átalakító, sokelektrodás csatoló és a kimeneti átalakító. (A hordozó befoglaló méretei: $11 \times 4, 5 \times 0,5 \text{ mm}$)



5. ábra. A bemeneti átalakító elektródarendszere nagyobb nagyításban

Mérési feltételek

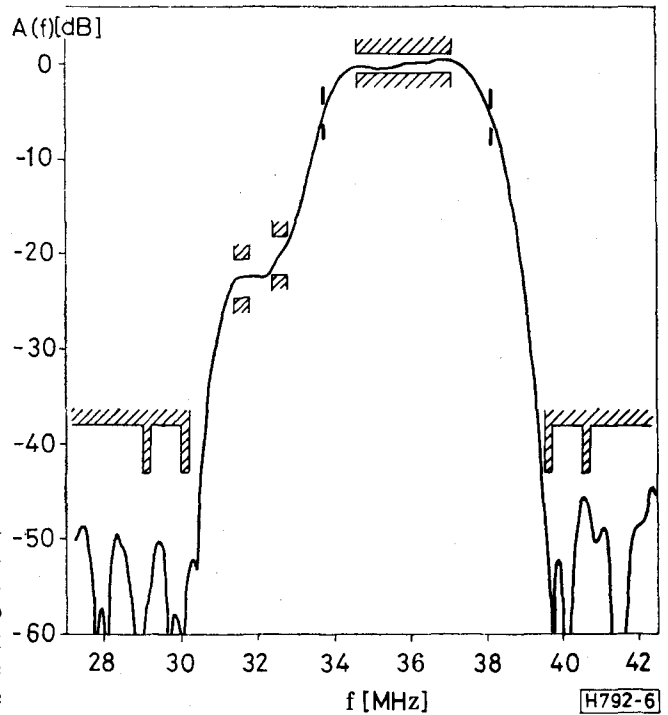
Mind az átviteli karakterisztikák mérése, mind a gyakorlati alkalmazás során biztosítani kell a szűrő be- és kimeneti kapcsainak megfelelő lezárását. Ellenkező esetben az egyik legkellemetlenebb zavaró jelenséget okozhatja a kétszeres reflexió, amelynek során a kimeneti átalakítóra érkező jel egy része visszajut a bemenetre, majd onnan ismét a kimenetre (triple transit) [16]. Ennek következtében az amplitúdó- és a futásiidő-karakterisztikákban — az átviteli sávhoz képest — rövid periódusú hullámzás lép fel, a TV-képernyőn pedig szellemkép alakulhat ki. A zavar mértéke függ a beiktatási csillapítástól, ezen keresztül pedig a be- és a kimenet lezárásaitól. A kétszeresen reflektált jel nem okoz észrevehető zavart, ha legalább 40 dB-lel elnyomjuk a hasznos jelhez képest. Mivel szintje közelítőleg a beiktatási csillapítás kétszerese +6 dB-lel van alacsonyabban a hasznos jel szintjénél, a lezáró impedanciákat úgy kell megválasztani, hogy a beiktatási csillapítás legalább 17 dB legyen [17]. A lezárások megválasztásánál további problémát jelent, hogy a szűrő bemenő- és kimenőimpedanciája frekvenciafüggő. Mindezek figyelembevételével a bemenőoldali lezárást 50–100 ohm, a kimenőoldali lezárást pedig 300–400 ohm közötti célszerű megválasztani. A mérések során 50 ohmos belső ellenállású feszültségforrást és 400 ohm||6 pF terhelést alkalmaztunk.

Mérési eredmények

Az elkészített mintapéldányok egyikének jellegzetes amplitúdó- és futásiidő-karakterisztikáját a toleranciákkal együtt a 6. és 7. ábrákon mutatjuk be. A vizsgált mintáknál — a fenti lezárások mellett — az egyenes átviteli sávban a feszültségelosztás jellemző értéke ~20 dB. A szűrők abszolút késleltetési ideje ~1,7 μ s, amit az átalakítók közötti akusztikus jelterjedési idő határoz meg.

A bemeneti és kimeneti admittanciák párhuzamos vezetőképesség és kapacitás ekvivalenseinek frekvenciafüggését a 8. és 9. ábrák szemléltetik.

A hazai viszonyokra kifejlesztett kétnormás szűrők néhány példányát alkalmazási kísérletekre átadtuk az Orion Fejlesztési Főosztálynak. A szűrőket egy CT 451 típusú színes televíziókészülékben megvizsgálták és jellemzőiket összehasonlították egy-



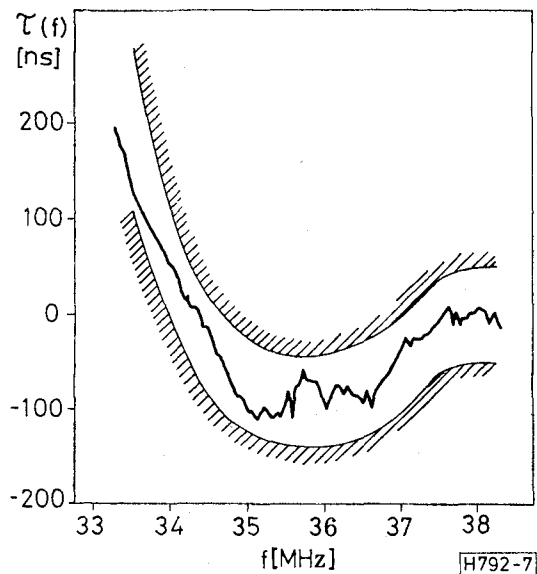
6. ábra. A szűrő mért relatív amplitúdó-karakterisztikája

normás külföldi szűrőkével. Megállapították, hogy a felhasználás szempontjából fontos paraméterek egyenértékűek a hasonló külföldi típusokéval.

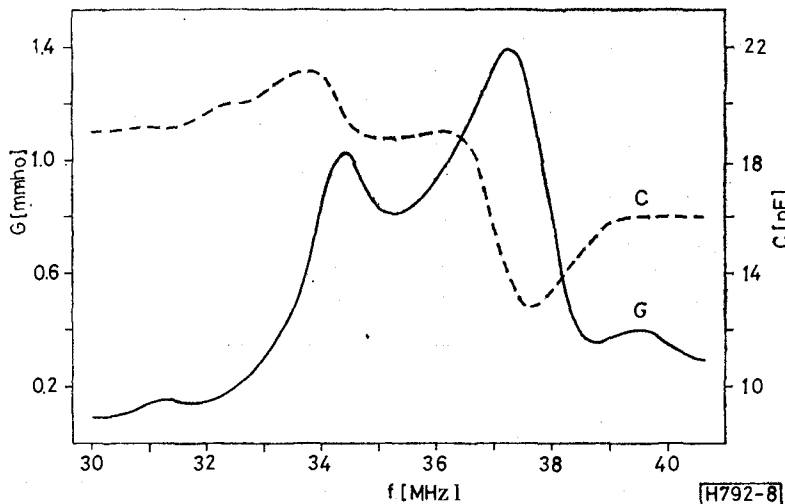
Összefoglalás

Az OMF B megbízásából kifejlesztettük az első hazai akusztikus felületi hullámú eszközt, és elkészítettünk 50 mintapéldányt.

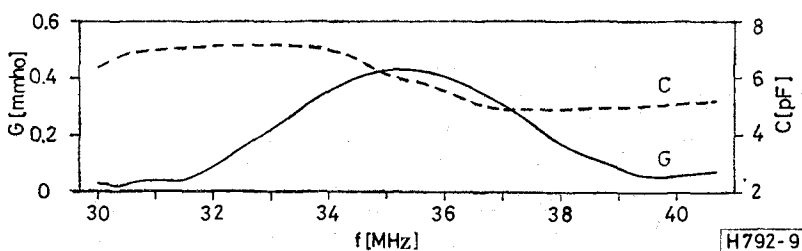
A LiNbO_3 egykristály alapanyagot a fejlesztési programhoz kapcsolódva az MTA Kristályfizikai Kutató Laboratóriumban állították elő.



7. ábra. A szűrő mért relatív futásiidő-karakterisztikája



8. ábra. A bemeneti admittancia párhuzamos vezetőképesség és kapacitás ekvivalenseinek frekvenciafüggése



9. ábra. A kimeneti admittancia párhuzamos vezetőképesség és kapacitás ekvivalenseinek frekvenciafüggése

A szűrők néhány példányát az Orion Rádió és Villamossági Vállalat Fejlesztési Főosztályán megvizsgálták, és megállapították, hogy a mintáknak megfelelő minőségű szűrők gyártmányaikban felhasználhatók.

A fejlesztési munkák zárószakaszában, a K-7 célprogram keretében, kutatási-fejlesztési eredményeinket átadtuk a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetnek, ahol kidolgozták a szűrő kissorozatú előállítási technológiáját, és 1000 db-os próbagyártást végeztek [18]. Jelenleg a sorozatgyártás előkészítése folyik.

Köszönetnyilvánítás

Megköszönjük az intézet vezetőségének a kutatási feladat indításában nyújtott támogatását.

Ezen a helyen is szeretnénk köszönetet mondani kollégáinknak, akik munkájukkal hozzájárultak a feladat eredményes elvégzéséhez.

Köszönetünket fejezzük ki az MTA Kristályfizikai Kutató Laboratórium, az Orion Rádiótechnikai és Villamossági Vállalat Fejlesztési Főosztály, a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet Rétegtechnikai Egyedi Eszközök és az Áramkör Tervezési Osztály munkatársainak értékes segítségükért.

I R O D A L O M

[1] Püspöki S.: Akusztikus felületi hullámú TV KF-szűrő tervezése analitikus közelítő módszerrel. Híradástechnika, XXXIII. évf. 6. sz. (1982.) 241-247.

[2] Andrási A-né—Beteznay F.—Püspöki S.—Serényi M.: Akusztikus felületi hullámok terjedésén alapuló KF-szűrők kifejlesztése színes televízióhoz. MFKF79 Évkönyv, 22-24.

[3] Püspöki S.—Serényi M.: Akusztoelektromos felületi hullámú (AFH) TV KF-szűrők tervezése és megvalósítása. — Előadás, Alkatrész konferencia, Szombathely, 1979. szept.

[4] C. S. Hartmann—D. T. Bell—R. C. Rosenfeld: Impulse Model Design of Acoustic Surface-Wave Filters. IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, V. 20. No. 2. (1973) pp. 80-93.

[5] Dr. Voszka Rudolf magánközleménye.

[6] K. Polgár—L. Jecsenszky—K. Raksányi—E. Hartmann: Growth, stoichiometry and properties of LiNbO₃ single cristal. Acta Physica Hungarica, V. 47. No. 1-3. (1979) pp. 125-132.

[7] Lassányiné Polgár Katalin: Mikroelektronikai célra alkalmas LiNbO₃ egykristályok előállítása. Egyetemi doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 1980.

[8] M. B. Schulz—B. J. Matsinger: Rayleigh Wave Electromechanical Coupling Constants. Appl. Phys. Letters, V. 20. No. 9. (1972) pp. 367-369.

[9] R. F. Miisom: Bulk Wave Generation by the IDT. Wave Electronics, V. 2., No. 1/2/3. (1976) pp. 64-81.

[10] F. G. Marshall—C. O. Newton—E. G. S. Paige: Theory and Design of the Surface Acoustic Wave Multistrip Coupler. IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, V. 20., No. 2. (1973) pp. 124-133.

[11] J. J. Campbell—W. R. Jones: A Method for Estimating Optimal Crystal Cuts and Propagation Directions for Excitations of Piezoelectric Surface Waves. IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, V. 15., No. 10. (1968) pp. 209-217.

[12] T. W. Bristol—W. R. Jones—P. B. Snow—W. R. Smith: Applications of Double Electrodes in

Acoustic Surface Wave Device Design. 1972 Ultrasonics Symp. Proc., pp. 343—345.

- [13] *H. M. Gerard—G. W. Judd—M. E. Pedinoff*: Phase Corrections for Weighted Acoustic Surface Wave Dispersive Filters. IEEE Trans. Microwave Theory and Techn., V. 20., No. 2. (1972) pp. 188—192.
- [14] *R. F. Mitchell*: Surface Acoustic Wave Transversal Filters: Their Use and Limitations. IEE Conf. Publ. 109, 1973, pp. 130—140.
- [15] *T. L. Szabó—A. J. Slobodnik*: The Effect of Diffraction on the Design of Acoustic Surface Wave Devices. IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, V. 20., No. 3. (1973) pp. 240—251.
- [16] *W. R. Smith*: Basics of the SAW Interdigital Transducer. Wave Electronics, V. 2., No. 1/2/3. (1976) pp. 25—63.
- [17] *D. W. Parker—R. G. Pratt—F. W. Smith—R. Stevens*: Acoustic surface-wave bandpass filters. Mullard Technical Communications, V. 14., No. 133. (1977) pp. 110—124.
- [18] *Ligeti R-né—Várkonyi T.—Pádár Gy.*: Akusztikus felületi hullámok (AFH) elvén működő eszközök alkalmazási lehetőségei. — Előadás, Alkatrész Szeminárium Győr, 1980. október.
-