

T 191 AUKŠTŲJŲ DAŽNIŲ TECHNOLOGIJA, MIKROBANGOS

Juostinių linijų su puslaidininkiniais padėklais skaitinis tyrimas

L. Nickelson, M. Tamošiūnienė, S. Ašmontas, V. Tamošiūnas

Puslaidininkių fizikos institutas, A. Goštauto g. 11, LT-2600 Vilnius, Lietuva,
tel. +370 5 2627124, +370 5 2792951; faks. +370 5 2627123,
el. paštas: lucy@pfi.lt; milda@pfi.lt; asmontas@pfi.lt

Įvadas

Atvirosios juostinės linijos (mikrojuostelinės ir plyšinės) yra plačiai naudojamos kuriant jutiklius, filtrus, atenuatorius ir kitus prietaisus. Jas lengva ir nebrangu pagaminti. Nanotechnologijų sukūrimas paskatino vėl grįžti prie juostinių linijų tyrimo ir taikymo. Dėl šių priežasčių mokslo leidiniuose vis dar gausu straipsnių, aprašančių juostinių linijų skaitinio tyrimo metodus ir rezultatus.

[1] darbe aprašomas juostinių linijų, naudojamų kuriant jutiklius, veikiančius terahercų dažnių juostoje, tyrimas. [2] darbas yra apžvalginis straipsnis, kuriame apžvelgti įvairių linijų (vienajuosčių ir dvijuosčių mikrojuostelinių bei plyšinių) tyrimo rezultatai. Mikrojuostelinės linijos, atsižvelgiant į bangų dispersiją, yra ištirtos [3] darbe, kuriame dvimatis uždavinys išspręstas naudojant baigtinių skirtumų laiko domenų (FDTD) metodą. Momentų metodu apskaičiuotos plyšinių linijų dispersinės priklausomybės [4]. Šiame darbe ištirtos linijos gali būti pritaikytos gaminant antenas. [5] darbe aprašomas mikrojuostelinių linijų su dvisluoksniais galio arsenido ir poliamido padėklais, nustatyta, kokią įtaką banginei varžai turi viršutinis (poliamido) sluoksnis. [6] darbe pateiktos juostinės linijos su dvisluoksnio silicio ir poliamido padėklų sklaidimo konstantos priklausomybės nuo dažnio, kai skyrėsi linijos matmenys. Padėklo apatinio sluoksnio medžiagos (Si) savitoji varža $\rho = 1 \Omega \cdot \text{cm}$. Šiame darbe skaitinio tyrimo rezultatai, gauti taikant baigtinių elementų metodą (3-D FEM), palyginti su eksperimento rezultatais. Mikrojuostelinių linijų tyrimas spektrinių domenų metodu aprašytas [7] darbe. Sujungtųjų modų metodu mikrojuostelinės linijos yra ištirtos [8] darbe. Mikrojuostelinių linijų su viensluoksniais ir dvisluoksniais padėklais kompleksinės banginės varžos priklausomybė nuo padėklo pločio skaitiškai tyrėme [9] darbe. Jame taip pat yra pateiktas kvazi-TEM bangos elektrinio lauko pasiskirstymas atvirojoje mikrojuostelinėje linijoje su viensluoksnio GaAs padėklu bei mikrojuostelinės linijos su išilgai įmagnetintu dvisluoksnio padėklu kompleksinės banginės varžos priklausomybė nuo juostinio laidininko storio. Pastebėtas rezonansinis reiškinys.

Mikrojuostelinių linijų su viensluoksniais GaAs padėklais elektrodinaminių būdingųjų dydžių

priklausomybes nuo linijos matmenų (juostinio laidininko pločio bei padėklo viršutinio sluoksnio storio) pateikėme [10] darbe. Mikrojuostelinių linijų su dvisluoksniais GaAs-SiO₂ padėklais elektrodinaminių būdingųjų dydžių priklausomybes nuo linijos matmenų bei elektrinio lauko pasiskirstymą mikrojuostelinėje linijoje pateikėme [11] ir [12] darbuose. Mikrojuostelines linijas su dvisluoksniais Al₂O₃-SiO₂ padėklais ištyrėme [13] darbe.

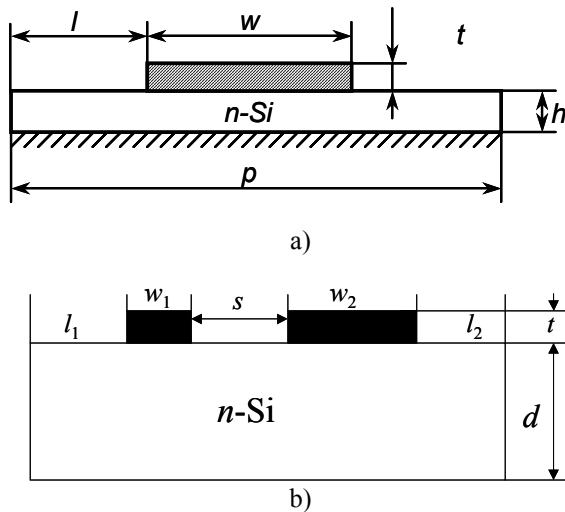
Siekiant supaprastinti uždavinio sprendimą ir gauti pakankamai tikslius rezultatus taikant vieną ar kitą artinį bei darant tam tikras prielaidas, yra sukurta daug metodų ir algoritmų. Dažnai artinys, kuris tinka vienu atveju, gali visai netikti kitu. Pvz., kaip rodo mūsų [9] darbo rezultatai, tiriant mikrojuostelines linijas su siaurais (palyginti su padėklo storio) padėklais ir keičiant padėklo plotį, ištirtosios linijos banginę varžą galima pakeisti iki 60 %. Jei skaičiuodami darytume prielaidą, kad padėklas yra begalinis (kad išvengtume kraštinių sąlygų tenkinimo padėklo šonuose), į šią priklausomybę negalėtume atsižvelgti ir gautume netikslius rezultatus. Tuo tarpu darant tą pačią prielaidą, galima gauti pakankamai tikslius rezultatus, jei algoritmą nauduosime mikrojuostelinėms linijoms su plačiais padėklais tirti.

Mūsų algoritmai įskaito baigtinius juostinio laidininko storį bei padėklo plotį, todėl ankstesniuose mūsų darbuose daugiau dėmesio skyrėme mikrojuostelinių linijų elektrodinaminių būdingųjų dydžių priklausomybėms nuo linijos matmenų tirti.

Šiame darbe mes ištyrėme juostines linijas su *n*-Si padėklais. Nuostolius padėklo puslaidininkinėje *n*-Si medžiagoje aprašo santykinės dielektrinės skvarbos $\hat{\epsilon} = \epsilon' - i\epsilon''$ menamoji dalis ϵ'' . Kaip žinoma, dydis ϵ'' priklauso nuo padėklo medžiagos savitosios varžos ρ ir signalo dažnio f ($\epsilon'' \sim \rho^{-1} \cdot f^{-1}$). Medžiagos, naudojamos mikrojuosteliniuose puslaidininkiniuose prietaisuose, dažnai pasižymi mažomis savitosios varžos vertėmis, todėl gali pasitaikyti toks atvejis, kai $\epsilon'' > \epsilon'$. Tai apsunkina skaitinį juostinių linijų tyrimą.

Mikrojuostelines linijas su plonais padėklais (padėklo storis daug mažesnis už linijoje sklindančios bangos ilgį) tyrėme singuliarinių integralinių lygčių metodu. Taikėme kvazi-TEM artinį. Šiuo atveju mikrojuostelinėje linijoje sklinda tik pagrindinė moda.

Plyšinės linijos (skirtingai nei mikrojuostelinės) neturi išeminto metalo pagrindo, o vienas iš juostinių laidininkų yra išemintas. Mikrojuostelinėje linijoje didesnė elektromagnetinio lauko energijos dalis yra pasiskirsčiusi padėkle po juostiniais laidininkais, o plyšinėje linijoje – plyšyje tarp juostinių laidininkų. Plyšines linijas tyrėme singuliarinių integralinių lygčių metodu, bet (skirtingai nei mikrojuostelines linijas) elektrodinamiškai griežtai (sprendinys tenkina Maksvelo lygtis, visas kraštines sąlygas, tarp jų sąlyga briaunoje ir begalybėje). Abu algoritmai, kuriuos naudojome šiame darbe pateiktiems rezultatams gauti, yra aprašyti [14] darbe.



1 pav. Juostinių linijų skerspjūvio vaizdas: a - mikrojuostelinė linija, b - plyšinė linija

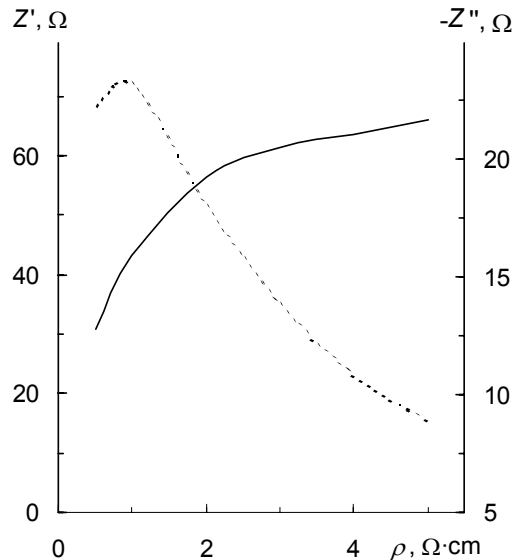
Šio darbo tikslas buvo: a) ištirti vienajuosčių mikrojuostelinių linijų su vienasluoksniais n -Si padėklais kompleksinės banginės varžos $\dot{Z} = Z' - iZ''$ priklausomybę nuo padėklo medžiagos savitosios varžos ρ , kai signalo dažnis $f = 10$ GHz, b) apskaičiuoti pagrindinės ir aukštesniųjų modų, galinčių skliti plyšinėje linijoje, kurios asimetriškai išdėstytų juostinių laidininkų pločiai yra w_1 ir w_2 , jų storis $t = 0,003$ mm, plyšio plotis s , padėklo medžiagos (n -Si) santykinė dielektrinė skvarba $\epsilon_r = 11,8$, dispersines priklausomybes 37,5 GHz - 78 GHz dažnių juostoje, c) įvertinti, kokią įtaką modų, sklindančių plyšinėje linijoje, spektrui turi plyšio plotis bei padėklo plotis, d) nustatyti tokius optimalius plyšinės linijos, kurios padėklo storis $d = 0,1$ mm, matmenis, kad linijoje sklistų tik viena moda, t.y. nebūtų parazitinių aukštesniųjų modų.

Mikrojuostelinių linijų tyrimo rezultatai

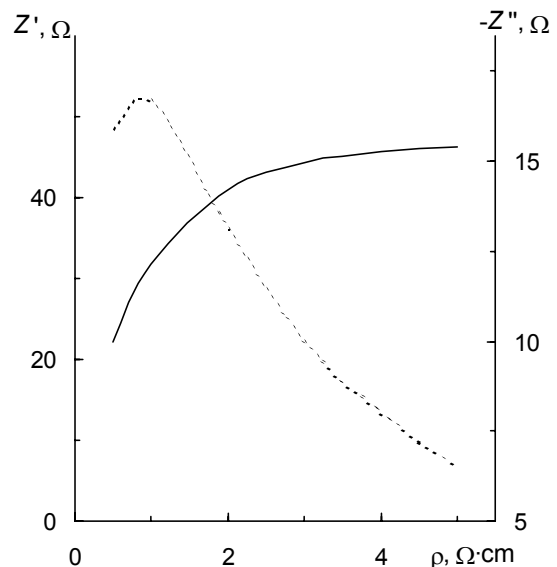
Mikrojuostelinę liniją (1 pav., a) apibūdina šie dydžiai: juostinio laidininko storis t , jo plotis w , jo atstumas nuo padėklo kraštų l (juostinis laidininkas yra padėklo centre), padėklo storis h , padėklo plotis $p = w + 2l$. Sprendžiant šį uždavinį, buvo laikoma, kad metalas yra idealus, o elektromagnetinės bangos energijos nuostolius sudaro tik nuostoliai padėklo medžiagoje.

2 pav. pateiktos kompleksinės banginės varžos $\dot{Z} = Z' - iZ''$ realiosios dalies Z' ir menamosios dalies Z'' priklausomybės nuo padėklo medžiagos savitosios varžos

ρ , kai signalo dažnis $f = 10$ GHz. Juostinio laidininko pločio ir padėklo storio santykis $w/h = 0,4$. Juostinio laidininko storio ir padėklo storio santykis $t/h = 0,002$. Atstumas nuo juostinio laidininko iki padėklo krašto l yra lygus padėklo storiui ($l = h$). Padėklo medžiagos santykinės dielektrinės skvarbos realioji dalis $\epsilon' = 11,7$. 2 ir 3 pav. pavaizduotos priklausomybės gautos, kai skyrėsi tik juostinio laidininko plotis, o kiti mikrojuostelinės linijos matmenys abiem atvejais buvo vienodi.



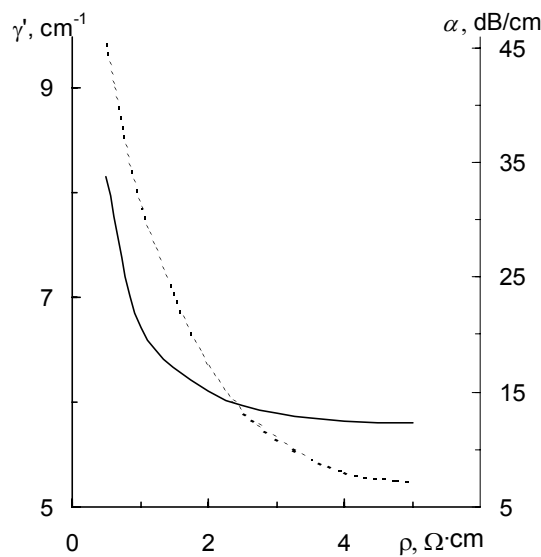
2 pav. Mikrojuostelinės linijos su n -Si padėklu banginės varžos realiosios dalies Z' (išsitiesinė linija) ir menamosios dalies Z'' (brūkšninė linija) priklausomybės nuo padėklo medžiagos savitosios varžos ρ , kai $w/h = 0,4$



3 pav. Mikrojuostelinės linijos su n -Si padėklu banginės varžos realiosios dalies Z' (išsitiesinė linija) ir menamosios dalies Z'' (brūkšninė linija) priklausomybės nuo padėklo medžiagos savitosios varžos ρ , kai $w/h = 0,82$

Palyginę 2 ir 3 pav. pateiktas priklausomybes, matome, kad, beveik dvigubai padidinus juostinio laidininko plotį, kompleksinės banginės varžos realioji

dalys Z' sumažėja 30%, kai $\rho = 5 \Omega \cdot \text{cm}$. Pakeitus ρ vertes nuo 0,5 iki 5,0 $\Omega \cdot \text{cm}$, Z' vertė pakinta 52 %, kai $f = 10 \text{ GHz}$. Taip pat matome, kad Z' vertės labiau priklauso nuo ρ verčių, kai šios yra mažesnės. Didėjant ρ vertėms, ši priklausomybė jau yra ne tokia ryški. Tai rodo, kad esant tam tikram signalo dažniui, šiai mikrojuostelinei linijai galime parinkti tokią padėklo medžiagos savitosios varžos vertę ρ , kuria pradėdant beveik visa elektromagnetinės bangos energija bus „įtraukta“ iš oro į sugeriantį puslaidinikinį padėklą, ir bangos sąveika su padėklo medžiaga bus didžiausia. Todėl toliau didinant ρ vertę, kompleksinės banginės varžos realioji dalis bei elektromagnetinės bangos energijos nuostoliai mikrojuostelinėje linijoje pastebimai nesikeis.



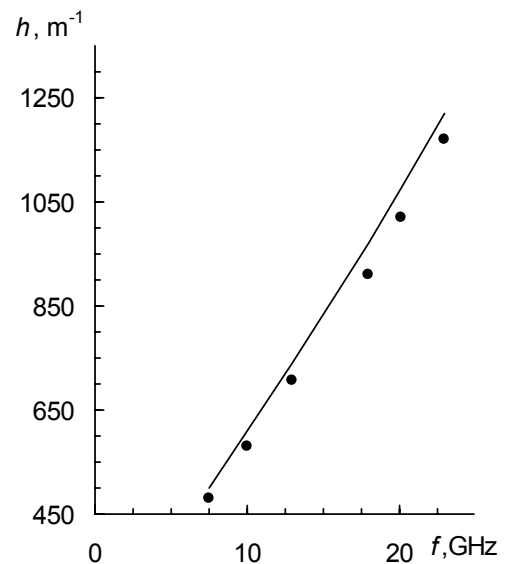
4 pav. Mikrojuostelinės linijos su n -Si padėklu išilginės sklaidimo konstantos (išstinė linija) γ' ir nuostolių linijoje (brūkšninė linija) priklausomybės nuo padėklo medžiagos savitosios varžos ρ , kai $w/h = 0,82$

4 pav. priklausomybės rodo, kad, keičiant mikrojuostelinės linijos padėklo medžiagos savitąją varžą, galima keisti bangos, sklindančios linijoje, kompleksinę išilginę sklaidimo konstantą. Matome, kad, pakeitus ρ vertes nuo 0,5 iki 5 $\Omega \cdot \text{cm}$, nuostoliai sumažėjo daugiau nei du kartus.

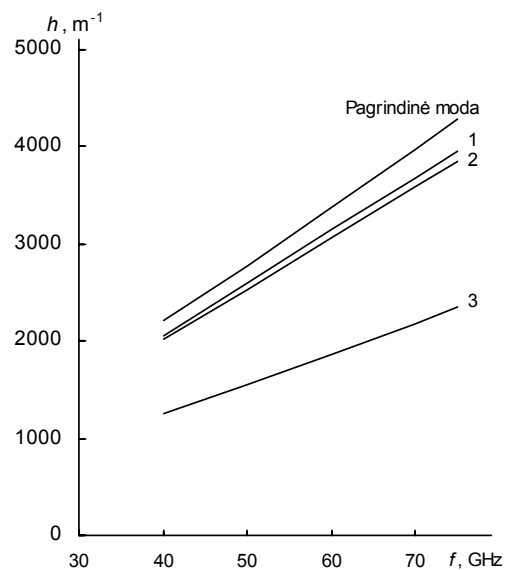
Plyšinių linijų tyrimo rezultatai

Plyšinę liniją (1 pav., b) apibūdina šie dydžiai: juostinių laidininkų storis t , jų plotis w_1 ir w_2 , atstumai nuo padėklo kraštų iki juostinių laidininkų l_1 ir l_2 , padėklo storis d .

5 pav. pateiktos simetrinės plyšinės linijos su n -Si padėklu dispersinės priklausomybės. Apskaičiuotos sklaidimo konstantos vertės buvo palygintos su [15] darbo eksperimento rezultatais. Eksperimento metu nebuvo galima kontroliuoti sklindančių modų tipo, bet buvo pastebėta, kad tais atvejais, kai teorinis skaičiavimas rodo, jog yra kelios modos, eksperimento taškų sklaida yra tuo didesnė, kuo daugiau modų gali skliti. Be to, mes palyginome skaičiavimo rezultatus, gautus taikant šį algoritmą, su [16] darbo rezultatais. Paklaida neviršija 2%.

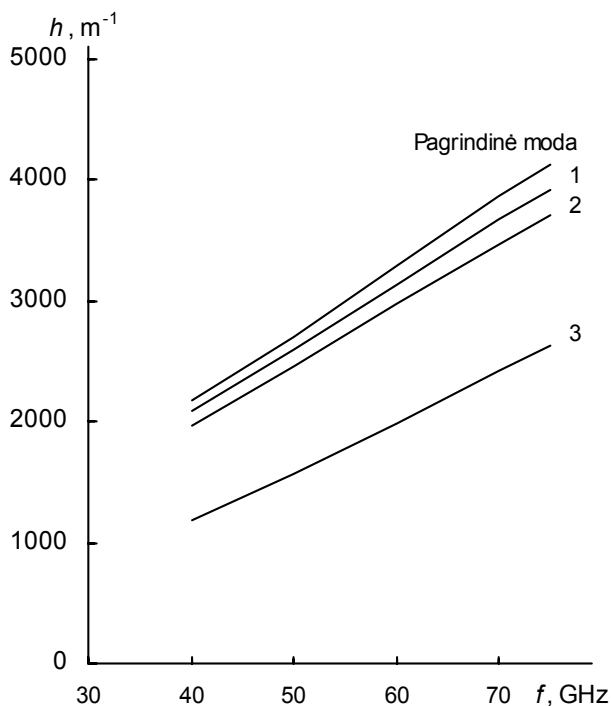


5 pav. Plyšinės linijos, kurios $s = 0,2 \text{ mm}$, $w_1 = 2 \text{ mm}$, $w_2 = 2 \text{ mm}$, $l_1 = l_2 = 0$, $t = 0,003 \text{ mm}$, dispersinės priklausomybės. Ištinė linija pavaizduoti skaičiavimo rezultatai, o taškais – [15] darbo eksperimento rezultatai

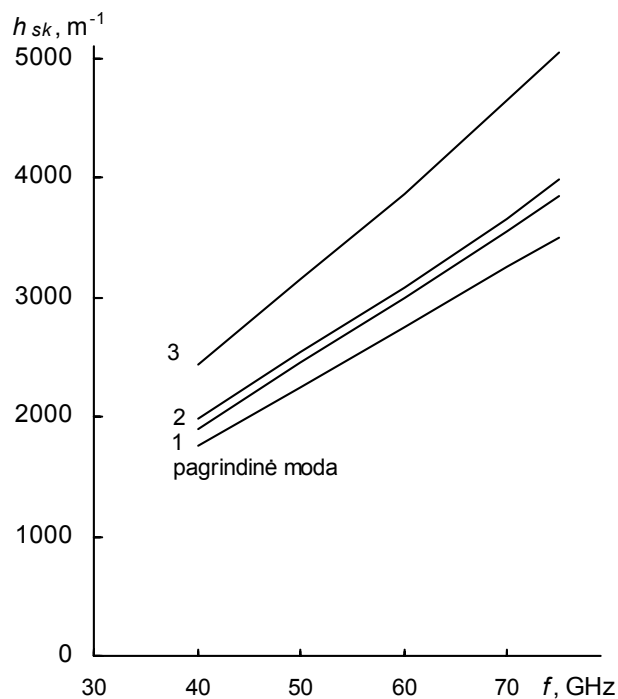


6 pav. Savųjų bangų (pagrindinės ir trijų aukštesniųjų modų, pažymėtų skaičiais: 1— pirmoji moda, 2—antroji, 3—trečioji), galinčių skliti plyšinė linija, kurios matmenys: $l_1 = 1 \text{ mm}$, $l_2 = 0,1 \text{ mm}$, $w_1 = 0,1 \text{ mm}$, $w_2 = 0,5 \text{ mm}$, $s = 0,02 \text{ mm}$, išilginių sklaidimo konstantų priklausomybės nuo dažnio

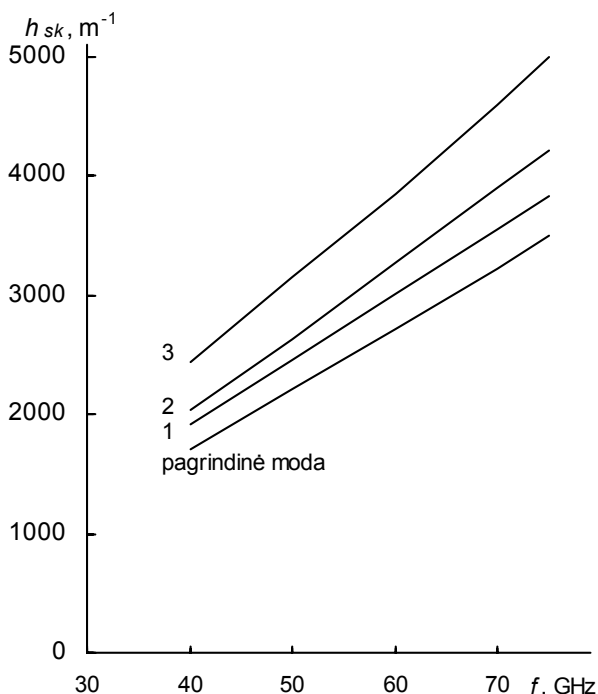
6 ir 7 pav. pateiktos savųjų bangų (pagrindinės ir trijų aukštesniųjų modų, galinčių skliti plyšinė linija, išilginių sklaidimo konstantų priklausomybės nuo dažnio. Abiem atvejais plyšinių linijų matmenys buvo vienodi, išskyrus plyšio plotį s .



7 pav. Savųjų bangų (pagrindinės ir trijų aukštesniųjų modų, pažymėtų skaičiais: 1— pirmoji moda, 2— antroji, 3— trečioji), galinčių sklستي plyšine linija, kurios matmenys: $l_1 = 1$ mm, $l_2 = 0,1$ mm, $w_1 = 0,1$ mm, $w_2 = 0,5$ mm, $s = 0,005$ mm, išilginių sklaidimo konstantų priklausomybės nuo dažnio



10 pav. Savųjų bangų, galinčių sklستي plyšine linija, kurios matmenys: $l_1 = 1$ mm, $l_2 = 0,1$ mm, $w_1 = 0,1$ mm, $w_2 = 0,5$ mm, $s = 0,02$ mm, skersinių sklaidimo konstantų k_{sk} priklausomybės nuo dažnio f



9 pav. Savųjų bangų, galinčių sklستي plyšine linija, kurios matmenys: $l_1 = 1$ mm, $l_2 = 0,1$ mm, $w_1 = 0,1$ mm, $w_2 = 0,5$ mm, $s = 0,005$ mm, skersinių sklaidimo konstantų k_{sk} priklausomybės nuo dažnio f

9 pav. pavaizduotos savųjų bangų, galinčių sklستي plyšine linija, kurios matmenys tokie pat kaip ir 8 pav., skiriasi tik plyšio plotis, skersinių sklaidimo konstantų k_{sk} priklausomybės nuo dažnio f .

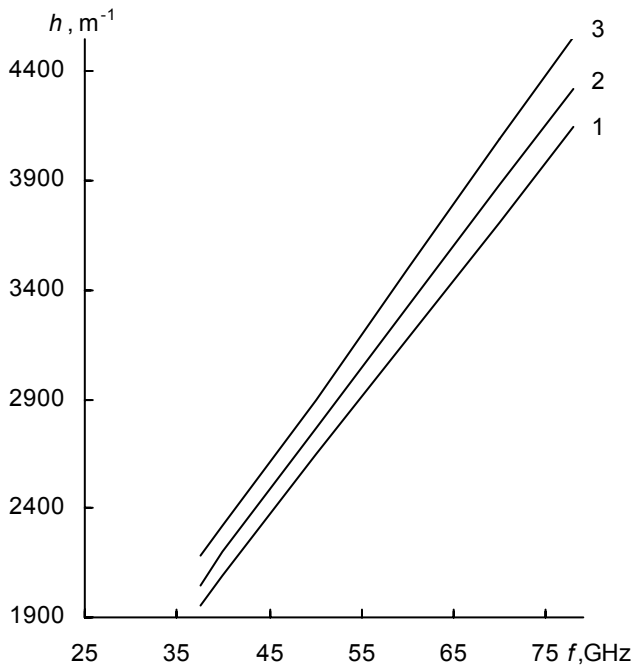
Palyginę 6 ir 7 bei 8 ir 9 paveikslų kreives, matome, kad nuo plyšio pločio priklauso savųjų bangų spektro tankis. Net nedaug susiaurinus iširtosios plyšinės linijos plyšį, galima praretinti modų, galinčių sklستي linija, spektrą.

10 pav. yra pateiktos plyšinių linijų ($s = 0,005$ mm, $d = 0,1$ mm), kurių padėklų plotis buvo nevienodas, pagrindinių modų dispersinės priklausomybės. Pagrindinės modos, sklindančios plyšine linija su siauriausiu padėklu, sklaidimo konstantos vertė yra mažiausia (1 kreivė), tačiau, palyginę 2 ir 3 kreives, matome, kad pagrindinės modos, sklindančios plyšine linija su platesniu nei pirmuoju atveju, bet siauresniu nei antruoju atveju padėklu, sklaidimo konstanta yra didesnė. Matyt, turi įtakos tai, kad 3 kreivė yra gauta, kai dešinysis juostinis laidininkas yra padėklo krašte, todėl į padėklą yra įtraukiama ir ta elektromagnetinės bangos energijos dalis, kuri buvo sutelkta ore prie padėklo šono, esančio arti metalo.

Kai atstumas nuo juostinio laidininko iki padėklo krašto didėja (2 kreivė), padėklo kraštas atitolsta nuo juostinio laidininko ir mažesnė elektromagnetinės energijos dalis yra sutelkta prie padėklo šono.

Norėdami nustatyti, kokius turime pasirinkti plyšinės linijos matmenis, kad ja sklستų tik viena moda, skaitiškai ištyrėme plyšines linijas, keisdami plyšio plotį ir palikdami kitus linijos matmenis nekintančius. Nustatėme, kad, kai $d = 0,1$ mm, $w_1 = 0,2$ mm, $w_2 = 0,3$ mm, $l_1 = 1$ mm, $l_2 =$

0,1 mm, $t = 0,003$ mm, o plyšio plotis kito nuo 0,3 iki 0,5 mm, plyšine linija sklido tik viena moda, kai signalo dažnis $f = 37,5$ GHz. Kai s vertės buvo didesnės ar mažesnės už nurodytas, t.y. platinant arba siaurinant plyšį, plyšine linija sklindančių modų skaičius didėjo (kai $s = 0,005$ mm, $s = 0,02$ mm, ištirtąja plyšine linija gali sklisti penkios modos, kai $s = 0,1$ mm, – keturios modos, kai $s = 0,2$ mm, $s = 1,0$ mm, – dvi modos).



10 pav. Plyšinių linijų, kurių padėklo plotis yra skirtingas (1 kreivė- $l_1 = 0$, $w_1 = 0,2$ mm, $w_2 = 0,3$ mm, $l_2 = 0$, 2 kreivė- $l_1 = 1$ mm, $w_1 = 0,2$ mm, $w_2 = 0,3$ mm, $l_2 = 0,1$ mm, 3 kreivė [9] - $l_1 = 1$ mm, $w_1 = 0,2$ mm, $w_2 = 0,3$ mm, $l_2 = 0$), pagrindinių modų dispersinės priklausomybės

Taip pat nustatėme, kad plyšine linija sklido tik viena moda, kai signalo dažnis $f = 37,5$ GHz, padėklo storis $d = 0,1$ mm, $w_1 = 0,1$ mm, $w_2 = 2$ mm, $l_1 = l_2 = 0,1$ mm, $t = 0,003$ mm, o plyšio plotis kito nuo 0,05 iki 0,5 mm. Kai $s = 0,005$ mm, šia plyšine linija gali sklisti trys modos, kai $s = 1,0$ mm ir $s = 5,0$ mm, – tik dvi modos. Šie mūsų skaičiavimo rezultatai parodė, kad, keičiant plyšio plotį, galima pasiekti, kad plyšine linija sklistų tik viena moda, kas yra labai svarbu gaminant prietaisą.

Išvados

1. Ištirtosios mikrojuostelinės linijos kompleksinės banginės varžos realioji dalis padidėja 30 %, kai beveik dvigubai sumažinamas juostinio laidininko plotis.
2. Siaurinant plyšį tarp juostinių laidininkų, galima padidinti skirtumą tarp pirmosios ir antrosios aukštesniųjų modų sklaidimo konstantos verčių.

3. 37,5-78 GHz dažnių juostoje, keičiant ištirtų plyšinių linijų plyšio plotį, galima pasiekti, kad plyšine linija sklistų tik viena moda.

Literatūra

1. **Hwang J. –R., Lai R. K., Nees J., Norris T., Whitaker J. F.** A field – sensitive photoconductive probe for sampling through passivation layers // *Appl. Phys. Lett.* – 1996. – Vol. 69, No.1. – P. 2211 – 2213.
2. **Niehenke E. C., Pucel R. A., Bahl I. J.** Microwave and millimeter – wave integrated circuits // *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques.* – 2002. – Vol. 50, No.3. – P. 846-857.
3. **Liu F., Schutt-Aine' J. E., Chen J.** Full wave analysis and modeling of multiconductor transmission lines via 2-D-FDTD and signal processing techniques // *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques.* – 2002. – Vol. 50, No.2. – P. 570-577.
4. Even and odd modes on a conductor – backed slotline/ **Zehentner J., Machac J., Mrkvica J.** // 32nd European Microwave Conference 2002, 25th. September 2002, fiera di Milano, Milan, Italy. Conference Proceedings, Vol. 2, (Microwave Engineering Europe, CMP Europe Ltd, 2002).
5. **Bahl Inder J.** High – Q and low loss matching network elements for RF and microwave circuits // *Microwave Magazine for the Microwave & Wireless Engineer.* - 2000. – Vol. 1, No. 3. – P. 64 – 73.
6. **Ponchak G. E., Margomenos A., Katehi L. P. B.** Low-loss CPW on low –resistivity Si substrates with a micromachined polyimide interference layer for RFIC interconnects //, *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques.* – 2001. – Vol 49, No. 5. – P. 866-870.
7. **d' Assuncao A. G., Lins de Albuquerque M. R. M., Fernandes E. N. R. Q.** Accurate analysis of microstrip lines on lossy biaxial anisotropic substrates // *International Journal of Infrared and Millimeter Waves.* – 2000. – Vol. 21, No. 12. – P. 2087 – 2097.
8. **Hu C. –N., Tzuang C.-K. C.** Analysis and design of large leaky – mode array employing the coupled – mode approach // *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques.* – 2001. – Vol 49, No.4. – P. 629 – 636.
9. **Knisevskaja L., Tamošiūnienė M., Tamošiūnas V., Šugurovas V.** Mikrojuostelinių linijų su puslaidininkiniais ir dielektriniais padėklais skaitinis tyrimas // *Elektronika ir elektrotechnika.* – 2003. – Nr.2 (44) – P. 22 – 25.
10. **Knisevskaja L., Tamošiūnienė M., Shugurov V.** Microstrip line on GaAs substrate // *Lithuanian Journal of Physics.* –2001. – Vol. 41, No.3. – P. 247 – 250.
11. **Knisevskaja L., Tamošiūnienė M., Shugurov V., Tamošiūnas V.** Microstrip line on two – layer GaAs and SiO₂ substrate // *Lithuanian Journal of Physics.* 2001. – Vol. 41, No.3. – P. 251 – 255.
12. **Knisevskaja L., Tamošiūnienė M., Berggren K. –F., Galwas B.-A.** Investigation of microstrip lines on two – layered semiconductor – dielectric substrate // *MIKON – 2002 – XIV Int. Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, Poland, Gdansk, May 20-22, 2002. Conference Proceedings.* – 2003. – Vol. 2. – P. 480-483.
13. **Knisevskaja L., Tamošiūnienė M., Shugurov V.** Numerical study of a microstrip line with a two – layer dielectric substrate of finite width // *International Journal of Infrared and Millimeter Waves – 2002.* – Vol. 23, No. 2. – P.325 – 336.

14. **Burneika I., Knishevskaya L., Smertin O., Tamoshiuniene M., Shugurov V.** Analysis of waveguide structures by means of singular integral equations // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. – 1996. – Vol. 17, No. 1. – P.159 – 183.
15. Theoretical and experimental analysis of open slot lines on semiconductor substrate with symmetrically and asymmetrically located conductors / **L. Knishevskaya, M. Jarmalis** // 8th Colloquium on Microwave Communication, Budapest, Hungary, 25-29 August. – 1986. – P. 345 – 347.
16. **Федоров А. Н., Левина Н. Н., Хаметова Н. А.** Некоторые результаты численного исследования щелевой и полосно щелевой линии // Радиотехника и электроника. – 1984. - Т. 28, No. 7. – С. 1282 – 1292/

Pateikta spaudai 2003 05 22

L. Nickelson, M. Tamošiūnienė, S. Ašmontas, V. Tamošiūnas. Juostinių linijų su puslaidininkiniais padėklais skaitinis tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika.-Kaunas: Technologija, 2004.-Nr. 1(50).- P. 16-21.

Darbe singularinių integralinių lygčių metodais ištirtos atvirosios mikrojuostelinės ir plyšinės linijos su *n*-Si padėklais. Mikrojuostelinės linijos ištirtos taikant kvazi-TEM artinį, o plyšinės – elektrodinamiškai griežtai. Gautus rezultatus palyginus su eksperimento, atlikto Pusalaidininkų fizikos institute, rezultatais, buvo patikrintas plyšinių linijų tyrimo algoritmas. Nustatyta mikrojuostelinės linijos kompleksinės banginės varžos priklausomybė nuo padėklo medžiagos savitosios varžos, kai skyrėsi juostinio laidininko plotis. Taip pat ištirtos plyšinės linijos su skirtingo pločio plyšiu. Skaičiavimo rezultatai parodė, kad modų galinčių sklįsti plyšine linija, skaičius gali didėti ir platinant, ir siaurinant plyšį. Plyšinių linijų juostiniai laidininkai buvo nevienodo pločio. Jų atstumas nuo abiejų padėklo šonų buvo nevienodas. Nustatyta, kad keičiant ištirtųjų plyšinių linijų plyšio plotį, galima padidinti skirtumą tarp pirmosios ir antrosios aukštesniųjų modų išilginių sklidimo konstantų, taip pat ir tarp pirmosios ir antrosios aukštesniųjų modų skersinių sklidimo konstantų. Pastebėta, jog, keičiant ištirtųjų plyšinių linijų plyšio plotį, galima pasiekti, kad linija sklįstų tik viena moda, kai signalo dažnis $f = 37,5$ GHz. Il. 10, bibl.16 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

L. Nickelson, M. Tamošiūnienė, S. Ašmontas, V. Tamošiūnas. Numerical Investigation of Strip Lines with Semiconductor Substrates // Electronics and Electrical engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 1(50.). - P. 16-21.

In this paper we've studied the open microstrip and slot lines with *n*-Si substrates. The microstrip lines we've studied using the singular integral equations method in quasi-TEM approximation. The dependence of the wave impedance on the resistivity of the substrate material was calculated. Slot lines having asymmetrically placed strip conductors of finite thickness on finite size substrate have been electrostatically rigorously studied by means of singular integral equation in 37.5-78 GHz frequency band. There was analyzed how the slot width affect the number of modes propagating in the line and what line sizes should be to ensure propagating of only one mode, that is practically important. Il. 10, bibl. 16 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

Л. Никельсон, М. Тамошюнене, С. Ашмонтас, В. Тамошюнас. Численное исследование полосковых линий на полупроводниковых подложках // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 1(50). - С. 16-21.

В этой работе методами сингулярных интегральных уравнений исследованы микрополосковые и щелевые линии на полупроводниковых *n*-Si подложках. Электродинамическая задача для расчета характеристик микрополосковых линий (МПЛ) решена в квази-ТЕМ приближении, а для исследования характеристик щелевых линий (ЩЛ) задача решена в строгой электродинамической постановке. Определены зависимости комплексного волнового сопротивления МПЛ от удельного сопротивления материала подложки для линии с полосковыми проводниками разной ширины. Исследованы ЩЛ, у которых полосковые проводники неодинаковой ширины расположены на подложке асимметрично по отношению к ее краям. Проанализированы зависимости характеристик ЩЛ от ширины щели между полосками. Анализ исследованных ЩЛ показал, что изменением размера щели можно заметно влиять на значение продольной и поперечной постоянной распространения основной и высших мод. Установлено, что подбором ширины щели возможно целенаправленно увеличивать широкополосность линии. Определены размеры щели при которых ЩЛ становится одномодовой. Ил. 10, библи. 16 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).