

ՀՏԴ 620.3

**Ա.Մ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Ռ.Հ. ԱՎՈՅԱՆ, Գ.Գ. ԹՈՐՈՍՅԱՆ,  
Ե.Վ. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ**

**ՏԻՏԱՆԻ ՕՔՍԻԴԻ ՆՈՒՐԲ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՍՏԱՅՈՒՄ**

Դիէլեկտրիկ նուրբ թաղանթների ստացումը հիմնականում կատարվում է բարձր հաճախականային մագնետրոնային փոշիացմամբ, էլեկտրաճառագայթային նստեցմամբ կամ համապատասխան նյութի գազային փուլից տրոհման եղանակով: Միկրոէլեկտրոնային սարքերը, այդ թվում՝ տվիչները պատրաստվում են մեկուսիչ հարթակների կամ հիմնական հարթակի պասիվացված և մեկուսիչ մակերևույթի վրա: Տույց է տրվել, որ Ti -ի նուրբ թաղանթներն աճեցնելով 13,5 ՄՀց հաճախականությամբ և հետագա օքսիդացմամբ հնարավոր է ապահովել հիբրիդային սխեմաների համար անհրաժեշտ դիմադրությամբ տակդիրներ:

**Առանցքային բառեր.** դիէլեկտրիկ թաղանթ, տիտանի թաղանթ, տիտանի օքսիդ, բարձր հաճախականային մագնետրոն:

**Ներածություն.** Միկրոէլեկտրոնիկայի բնագավառում ինչպես հիբրիդային, այնպես էլ կիսահաղորդչային շատ միկրոսխեմաներ պատրաստվում են հիմնականում մեկուսիչ տակդիրների վրա, ինչպիսիք են սիտալը, պոլիկորը և այլն: Հաճախ տակդիրների մակերևույթների պասիվացման համար որպես մեկուսիչներ հիմնականում օգտագործում են վենտիլային նյութերի օքսիդները, ինչպիսիք են Si, Ta, Ti, Mo-ը, որոնց օքսիդները հանդիսանում են միևնույն ժամանակ պաշտպանիչ շերտեր [1-3]: Բարակ թաղանթների ստացման տեխնոլոգիայում կարևորագույն պայմաններից են բարակ շերտերի կրկնվող պարամետրերը: Այդ իսկ պատճառով տվյալ ուղղությամբ աշխատանքները կատարվում են բարձր հաճախականային մագնետրոնային փոշեցրման մեթոդներով [4, 5]:

**Խնդրի դրվածքը.** Հիբրիդային ինտեգրալ սխեմաները, համեմատած կիսահաղորդչայինների հետ, ունեն մի շարք առավելություններ, նախագծողի տեսանկյունից դրանք ապահովում են նոմինալների լայն շրջանակ, ավելի փոքր հանդուրժողականության սահմաններ և պասիվ տարրերի ավելի լավ էլեկտրական բնութագրեր, ավելի բարձր որակի գործոն, ջերմաստիճանային և ժամանակային կայունություն [6]:

Միկրոսխեմաների և տվիչների նախանշված էլեկտրական պարամետրերն ապահովելու համար տակդիրների նյութը պետք է ունենա.

1. Ջերմային հաղորդունակության բարձր գործակից՝ ջերմություն գեներացնող տարրերից (ռեզիստորներ, դիողներ, տրանզիստորներ) ջերմության փոխանցումը արդյունավետ կազմակերպելու համար:

2. Բարձր մեխանիկական կայունություն՝ ապահովելով ենթաշերտի ամբողջականությունը ստեղծված տարրերով, ինչպես միկրոսխեմայի արտադրման գործընթացում (ջերմային սեղմում, զոդում, պատյանապատում), այնպես էլ շահագործման ընթացքում ջերմային ցիկլերի, ջերմային հարվածների և մեխանիկական ազդեցությունների պայմաններում:

3. Բարձր քիմիական իներտություն կիրառվող նյութերի նկատմամբ, թաղանթի տարրերի պարամետրերի ժամանակավոր անկայունության նվազում, որոնք առաջանում են տակդիր-թաղանթ անցման սահմանին՝ ֆիզիկական և քիմիական պրոցեսների հետևանքով, և տակդիրից իոնների ներթափանցումը թաղանթ: Տակդիրում հեշտությամբ շարժվող ալկալային տարրերի առկայությունը կարող է հանգեցնել մակերևույթի էլեկտրական հաղորդունակության զգալի աճի և նույնիսկ թաղանթների կոռոզիայի: Նման դեպքերում տակդիրի մակերևույթին կիրառում են օքսիդային շերտեր, որոնք չունեն իոնային հաղորդունակություն:

Տեղեկատվական տեխնոլոգիաների բնագավառում ժամանակակից մի շարք նոր միկրոէլեկտրոնային սարքերի պատրաստման նպատակով անհրաժեշտություն է առաջանում՝ որոշ հիբրիդային ինտեգրալ միկրոսխեմաների համար որպես հարթակ օգտագործել նաև մետաղական նյութեր, օրինակ, այդպիսի սարքավորումներից են ներկայիս մի շարք ճնշման տվիչները:

Քանի որ հիբրիդային ինտեգրալ միկրոսխեմաները պատրաստվում են մեկուսիչ հարթակների կամ թաղանթների վրա, ուստի անհրաժեշտություն է առաջանում՝ համապատասխան մետաղական կոնստրուկցիաների վրա, որպես տակդիրներ, ստանալու բարակ դիէլեկտրիկ շերտեր՝ համապատասխան հաստություններով, որպեսզի հնարավոր լինի ձևավորել մետաղ-դիէլեկտրիկ անցումը, որից հետո հնարավոր կլինի տվյալ մեկուսչի վրա ստանալ համապատասխան հիբրիդային ինտեգրալ միկրոսխեմաները: Տվյալ դիէլեկտրիկ նյութերը հիմնականում ստանում են նուրբ թաղանթային տեխնոլոգիաներով, ինչպիսիք են բարձր հաճախականային մագնետրոնային փոշիացումը, էլեկտրաճառագայթային նստեցումը կամ նյութերի ստացումը գազային փուլից տրոհման եղանակով [2, 5, 7]:

Քանի որ նուրբ թաղանթային տեխնոլոգիաներով հնարավորինս հաստ դիէլեկտրիկ թաղանթներ ստանալը տեխնոլոգիապես բարդ է՝ կապված բարձր հզորությունների և ժամանակի տևողության հետ, ուստի խնդիր է հանդիսանում

այն օպտիմալ դիէլեկտրիկի հաստությունը գտնելը, որը հնարավորություն կտա ապահովել ամբողջական խզումը մետաղական տակդիրի հետ:

Սույն աշխատանքի նպատակն է փորձնական եղանակով գտնել դիէլեկտրիկ շերտի այն օպտիմալ հաստությունը, որը հնարավորություն կտա բացառել հոսանքի անցումը տակդիրի մետաղական մասով:

Աշխատանքում օգտագործվել է բարձր հաճախական մագնետրոնային փոշեցրման սարքավորում, և մշակվել են տարբեր տեխնոլոգիական ռեժիմներ, որոնք թույլ են տվել ստանալ բարձր մաքրությամբ և համասեռությամբ Ti-ի թաղանթներ: Բարձր հաճախական մագնետրոնային փոշեցրման համար որպես թիրախ օգտագործվել է 100 մմ տրամագծով և 10 մմ հաստությամբ տիտանի BT1 մակնիշի թիրախ: Նախնական վակուումը կազմել է  $10^{-6}$  մմ սն. սյուն, որից հետո, օգտագործելով իներտ գազ (արգոն), վակուումն իջեցվել է մինչև  $10^{-4}$  մմ սն. Սյուն, այնուհետև, տալով լրացուցիչ թթվածին, վակուումն իջեցվում է մինչև  $5 \cdot 10^{-3}$  մմ սն. սյուն:

Աղ. 1-ում բերված են տիտանի նուրբ թաղանթների ստացման գործընթացի տեխնոլոգիական պարամետրերը:

*Աղյուսակ 1*

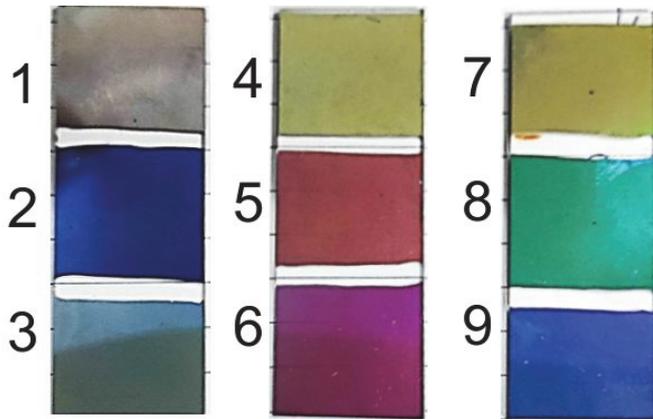
*Տիտանի նուրբ թաղանթների ստացման գործընթացի տեխնոլոգիական պարամետրերը*

Մագնետրոնի հզորությունը	1000 Վտ
Հաճախականությունը	13.5 ՄՀց,
Թիրախը	տիտան,
Նախնական վակուումը	$10^{-6}$ մմ սն. սյուն
Ընթացիկ վակուումը	$5 \cdot 10^{-3}$ մմ սն. սյուն
Միջավայրը	արգոն-թթվածին
Տևողությունը	100 նմ- 60 րոպե

Մագնետրոնային փոշեցրմամբ ստացված տիտանի նուրբ թաղանթների հաստություններն ուսումնասիրվել են՝ պարզելու դրանց համասեռությունը: Պատաստված 9 նմուշներն ունեցել են 364-ից 366 նմ հաստություն: Համաձայն հաստության չափումների՝ թե օպտիկական, թե քերծման մեթոդով,  $3 \cdot 3$  սմ չափսերով նմուշների դեպքում, 365 նմ հաստությամբ թաղանթների անհամասեռությունը 2 նմ է, որը կազմում է ընդհանուր հաստության 1%-ից պակաս:

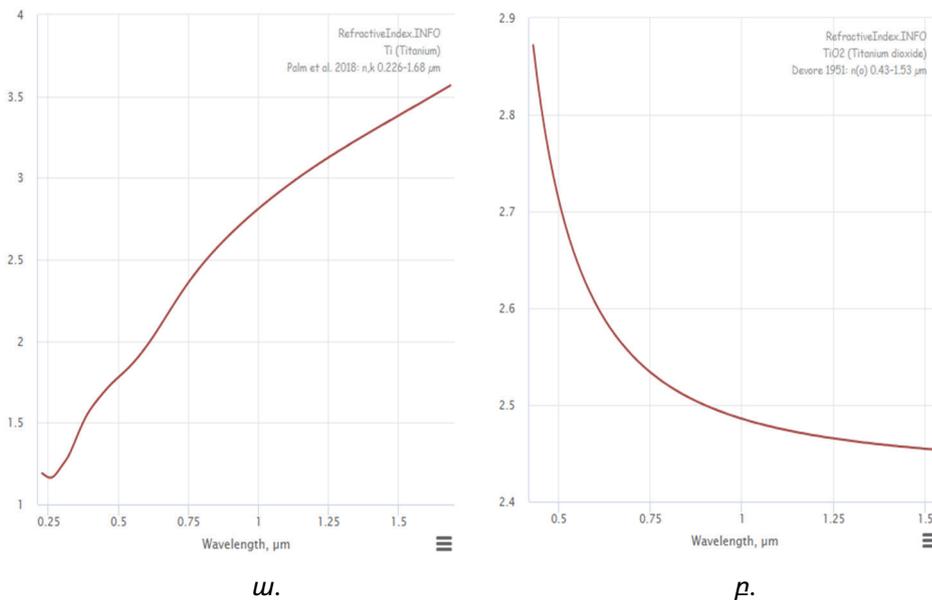
Տիտանի նուրբ թաղանթների ստացումից հետո իրականացվել է դրանց օքսիդացումը, որը կատարվել է անոդային օքսիդացման եղանակով, լիմոնաթթվի ջրային լուծույթի պայմաններում, օգտագործելով հաստատուն հոսանքի գեներատոր: Նշված մեթոդը թույլ է տալիս ստանալ մետաղ-դիէլեկտրիկ հստակ սահման

և, միևնույն ժամանակ, դեկավարել օքսիդի շերտի հաստությունը ինչպես մետաղի, այնպես էլ դիէլեկտրիկի համար: Ստացված 9 նմուշների լուսանկարները բերված են նկ. 1-ում:

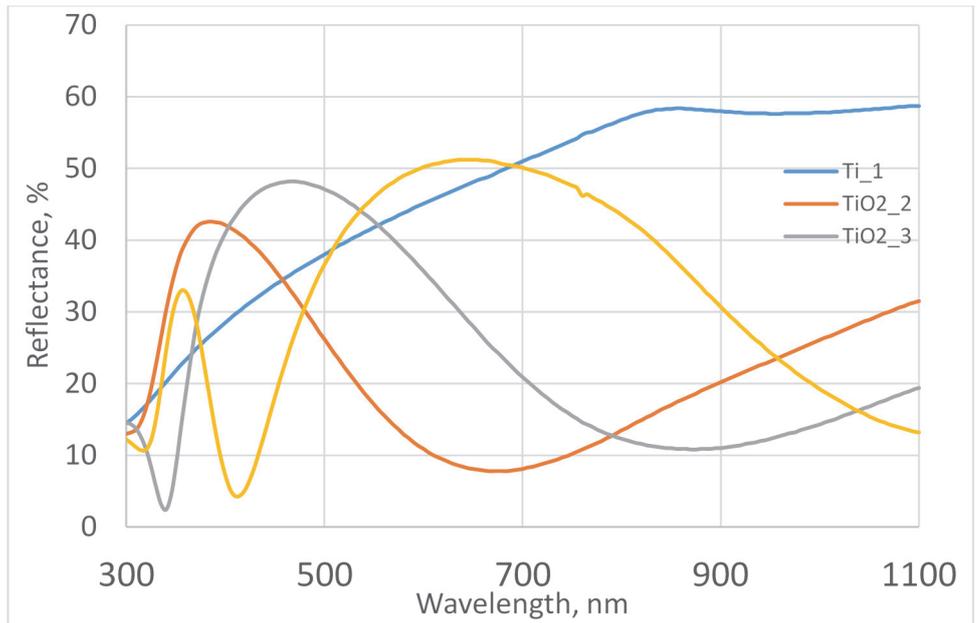


Նկ. 1. Ti-ի և TiO<sub>2</sub>-ի 9 նմուշների լուսանկարները

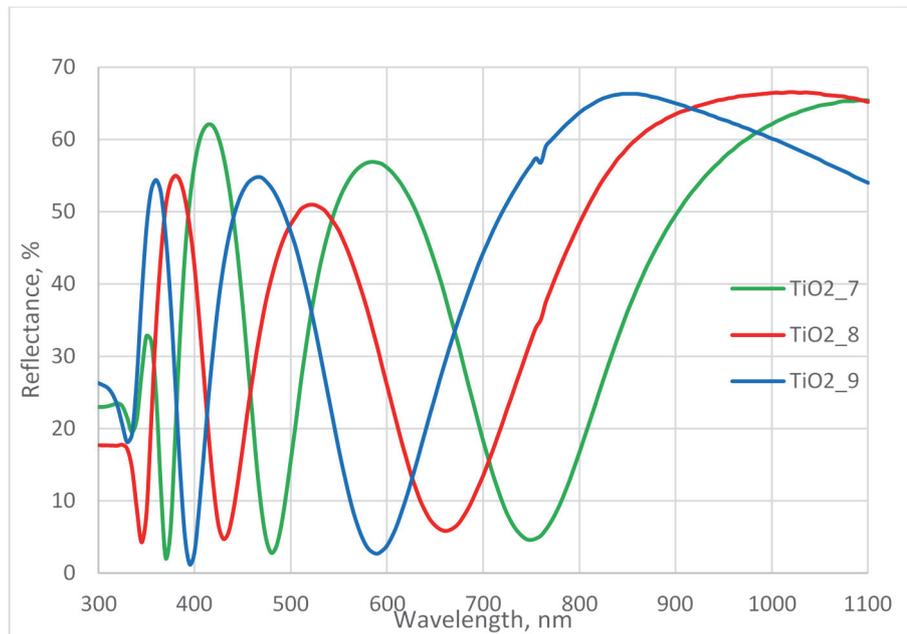
Քանի որ հայտնի են Ti-ի և TiO<sub>2</sub>-ի բեկման ցուցիչների սպեկտրալ կախվածությունները (նկ. 2) [8-10], ստացված թաղանթների անդրադարձման գործակիցների սպեկտրալ կախվածությունների (նկ. 3 և 4) ուսումնասիրմամբ գնահատվել են դրանց հաստությունները:



Նկ. 2. Ti-ի (ա) և TiO<sub>2</sub>-ի (բ) բեկման ցուցիչների սպեկտրալ կախվածությունները



Սկ. 3. Ti-ի և Ti+TiO<sub>2</sub>-ի 3 փարբեր հաստությամբ թաղանթների անդրադարձման գործակիցների սպեկտրալ կախվածությունները



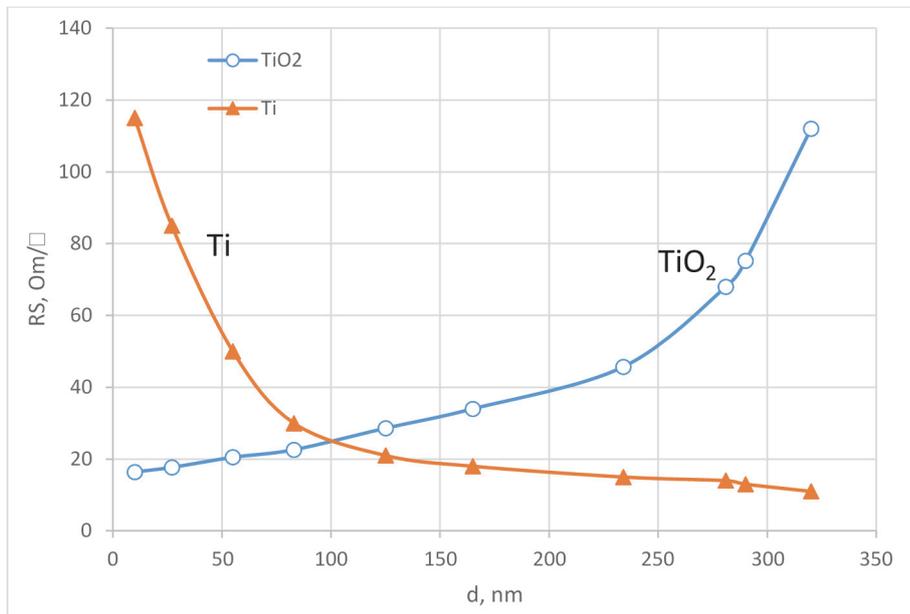
Սկ. 4. 7-րդ, 8-րդ և 9-րդ նմուշների դեպքում Ti+TiO<sub>2</sub>-ի թաղանթների անդրադարձման գործակիցների սպեկտրալ կախվածությունները

Աղ. 2-ում և նկ. 5-ում բերված են Ti-ի և TiO<sub>2</sub>-ի թաղանթների հաստության և մակերևութային դիմադրության փոխադարձ կախվածությունները: Նկ. 5-ում երևում է, որ Ti-ի թաղանթի հաստության աճի հետ փոքրանում է դիմադրությունը, և հակառակն է դիտվում TiO<sub>2</sub>-ի հաստության աճի ընթացքում:

Աղյուսակ 2

Նմուշ	R <sub>s</sub> , Օմ/□	D <sub>Ti</sub> , նմ	D <sub>TiO<sub>2</sub></sub> , նմ
1	16.4	365	0
2	17.7	338	27
3	20.5	302	63
4	31.6	282	83
5	28.6	240	125
6	27.4	218	147
7	45.7	131	234
8	71.5	84	281
9	72.2	75	290

Չափումների արդյունքում պարզվել է, որ TiO<sub>2</sub>-ի 280 նմ և ավելի հաստության դեպքում մակերևութային դիմադրությունը բավարար է տակդիրի մետաղական շերտի հետ էլեկտրական կապի խզման և հետագա տեխնոլոգիական պրոցեսների ժամանակ էլեկտրական բաղադրիչների տեղադրման համար:



Նկ. 5. Ti-ի և TiO<sub>2</sub>-ի թաղանթների մակերևութային դիմադրության կախվածությունները թաղանթի հաստությունից

**Եզրակացություն.** Մշակվել է Ti-ի և TiO<sub>2</sub>-ի բարակ թաղանթների ստացման 13,5 ՄՀց հաճախականային տեխնոլոգիա: Ստացվել են բարձր ադիեզիայով, կառավարելի հաստությամբ TiO<sub>2</sub>-ի նուրբ թաղանթներ: TiO<sub>2</sub>-ի շերտի հաստության ընտրությամբ ստացվել են նախանշված մակերևութային դիմադրության նմուշներ: Մետաղական տակդիրների վրա փորձնական եղանակով ստացվել է դիէլեկտրիկ շերտի այն նվազագույն հաստությունը, որն արգելում է հոսանքի անցումը մետաղական տակդիրի միջով. այն կազմում է 280 նմ:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ивашкевич И.В.** Структурные и оптические свойства тонких пленок оксида титана на полупроводниковых подложках // Квантовая электроника: Материалы XIII Междунар. науч.-техн. конференции.- Минск, 2021.- С. 138-141.
2. Preparation and characterization of polycrystalline anatase and rutile TiO<sub>2</sub> thin films by RF magnetron sputtering /**L. Miao, P. Jin, K. Kaneko, A.Terai, et al** //Appl. Surf. Sci. -2003. -V. 12–213. -P. 255–263.
3. **Singh P., Kaur D.** Room temperature growth of nanocrystalline anatase TiO<sub>2</sub> thin films by dc magnetron sputtering // Physica B. -2010. -V. 405. - P. 1258–1266.
4. **Ивашкевич И.В., Стаськов Н.И., Филиппов В.В., Чернов С.М.** Исследование структуры пленок ZnO и TiOx методами эллипсометрии // Итоги научных исследований ученых МГУ, 2014: Сб. научн. статей. –Могилев, 2015. -С. 43–47.
5. A study of the optical properties of titanium oxide films prepared by dc reactive magnetron sputtering /**Li-J. Meng, V. Teixeira, H. Cui, et al** //Appl. Surf. Sci. - 2006. -V. 252.- P. 7970–7974.
6. **Коледов Л.А., Ильина Э.М.** Микроэлектроника: Учебное пособие для вузов. М59. В 9 кн. / Под ред. Л.А. Коледова. Кн. 4. Гибридные интегральные микросхемы. - М.: Высш. шк., 1987. - 95 с.
7. **Joseph F. White,** High Frequency Techniques: An Introduction to RF and Microwave Design and Computer Simulation 1st Edition.- Wiley-IEEE Press, August 1, 2016.- 528p.
8. <https://www.filmetrics.com/refractive-index-database/Ti/Titanium>
9. <https://www.filmetrics.com/refractive-index-database/TiO2>
10. <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=Ti&page=Johnson>

**А.М. АВETИСЯН, Ж.Р. ПАНОСЯН, Р.О. АВОЯН, Г.Г. ТОРОСЯН,  
Е.В. ЕНГИБАРЯН**

### **ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНOK OKCИДА ТИТАНА**

Диэлектрические тонкие пленки в основном производятся методом высокочастотного магнетронного распыления, электронно-лучевого распыления или газофазного осаждения соответствующего материала. Микроэлектронные приборы, включая датчики, изготавливаются на изолирующих подложках или на пассивированных и изолирующих поверхностях подложки. Показано, что тонкие пленки Ti, выращенные на частоте 13,5 МГц и впоследствии окисленные, могут обеспечить подложки с требуемым сопротивлением для гибридных схем.

**Ключевые слова:** диэлектрическая пленка, титановая пленка, оксид титана, высокочастотный магнетрон.

**A.M. AVETISYAN, ZH.R. PANOSYAN, R.H. AVOYAN, G.G. TOROSYAN,  
YE.V. YENGIBARYAN**

### **OBTAINING TITANIUM OXIDE THIN FILMS**

Dielectric thin films are mainly produced by high-frequency magnetron sputtering, electron beam sputtering, or gas-phase deposition of the corresponding material. Microelectronic devices, including sensors, are fabricated on insulating substrates or on passivated and insulating surfaces of the substrate. It has been shown that Ti thin films grown at 13.5 MHz and subsequently oxidized can provide substrates with the required resistance for hybrid circuits.

**Keywords:** dielectric film, titanium film, titanium oxide, high-frequency magnetron.