

(19)



(10) **LT 5856 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patento numeris: **5856** (51) Int. Cl. (2011.01): **C01B 33/00**
C30B 15/00
C30B 29/00

(21) Paraiškos numeris: **2010 086**

(22) Paraiškos padavimo data: **2010 10 14**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2012 04 25**

(45) Patento paskelbimo data: **2012 08 27**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(72) Išradėjas:

Igor Evgenjevich MARONCHIUK, UA
Tamara Fatyxovna KULIUTKINA, UA
Igor Igorjevich MARONCHIUK, RU
Rokas VIRBICKAS, LT
Arvydas APERAVIČIUS, LT

(73) Patento savininkas:

UAB „NAUJAUSIŲ TECHNOLOGIJŲ CENTRAS“, Pramonės g. 15, LT-78137
Šiauliai, LT
UAB „TELEBALTICOS“ IMPORTAS IR EKSPORTAS, Pramonės g. 15, LT-78137
Šiauliai, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

Jurga PETNIŪNAITĖ, AAA Baltic Service Company, J.Jasinskio g. 16A, LT-
01112 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Silicio valymo būdas

(57) Referatas:

Techninio grynumo silicio, kurį sudaro metalurginis silicis ir separuotas šlamas, valymo būdas, pagrįstas tirpinimu - kristalizacija lydžiųjų metalų lydiniuose, sudarytas iš trijų etapų: du (parengtinis ir baigiamasis) - priemaišų valymas ir vienas metalo - tirpiklio atomų valymas.

Parengtiniame etape vykdomas periodinis techninio grynumo silicio įkrovų įvedimas į lydžiojo metalo lydalo paviršių, įkrovų nuleidimas į tiglio dugną, intensyvus lydalo maišymas vakuume, panaudojant impulsinį

LT 5856 B

prapūtimą inertinių dujų pagrindu sudarytu dujų mišiniu, šlako pašalinimas, konvekcinis ištirpusio silicio masės pernešimas skystosios lydžiojo metalo fazės sluoksnyje ir silicio kristalizavimas plokštelių silicio kristalų pavidalu.

Baigiamojo valymo etape vykdomas periodinis įkrovų iš plokštelių silicio kristalų įvedimas į kito lydžiojo metalo lydalo paviršių, intensyviai maišant, ir siliciu prisotinto lydalo pernešimas iš tirpinimo zonos į kristalizacijos zoną, kur silicis auginamas luito pavidalu ant silicio plokštelės, kurios priekinis paviršius peršaldomas 0,5-3 °C temperatūrų intervale, lydalas, iš kurio pašalintas silicis, grąžinamas atgal į tirpinimo zoną, pašalinami šlakai, išimami luitai.

Nepertraukiamas priemaišų šalinimas pagrįstas periodiniu plokštelių silicio kristalų ištraukimu, plokštelių su užaugintais silicio luitais bei tiglių su daugkartinio naudojimo lydalu keitimu.

Lydžių metalų atomų šalinimas vykdomas tiesioginės kristalizacijos metodu, auginant monokristalinį silicį iš silicio luitų, gautų baigiamajame priemaišų šalinimo etape.

Technikos sritis

Techninio grynumo silicio valymo būdas priskiriamas puslaidininkinių medžiagų
5 gavimo technologijai, o būtent – gryo silicio gavimo būdams – techninio grynumo silicio
valymui lydžių metalų lydaluose.

Technikos lygis

Žinomas metalurginio silicio valymo būdas galio, panaudoto kaip lydusis metalas,
10 lydale (UA patentas Nr. 12665 U). Metalurginis silicis gabalų pavidalu dedamas į tiglio
dugną, galio lydalas įkaitinamas iki 800-1000 °C, sudaromas temperatūros gradientas 4-8
°C/cm išilgai tiglio su lydalų, kristalinė silicio plokštelė panardinama į viršutinę, šalčiausią
lydalo dalį ir masės pernešimo dėka ištirpęs silicis iš apatinės tiglio dalies natūralios
konvekcijos būdu kyla į viršų ir kristalizuojasi ant plokštelės 1 kg per 3,5 val. greičiu.

15 Tačiau šis būdas turi trūkumų:

1. Išilgai tiglio esantis temperatūros gradientas pablogina silicio kristalo struktūros
morfologiją, nes nestabilus kristalizacijos, vykstančios persotintame lydalyje esant
įkaitintai plokštelei, frontas.
2. Silicio kiekis, išvalytas tokiu būdu, priklauso nuo silicio įkrovos, pritvirtintos tiglio
20 dugne, o tai apriboja šį būdą realizuojančio įrenginio našumą.
3. Ištirpusio silicio masės pernešimas prie plokštelės tiesioginės konvekcijos pagalba
apriboja nusodinamo ant plokštelės silicio augimo greitį, nes neįmanoma pasiekti
mažesnio kaip 1 mm storio ribinio difuzinio sluoksnio.

Prototipu pasirinktas metalurginio silicio valymo būdas (UA patentas Nr. 84653 C).
25 Metalurginis silicis nepertraukiamai dedamas į lydžiojo metalo lydalyje, esant pastoviai
temperatūrai, kurios dydį riboja lydžiojo metalo lakumas. Lydusis metalas pasirenkamas iš
Ga, Sn, In, Al, Pb grupės. Metalurginis silicis į lydžiojo metalo lydalyje įvedamas paduodant
silicį į skystąją fazę. Lydalas priverstinai maišomas, ir taip vyksta ištirpusio silicio masės
pernešimas prie kristalizacijos fronto. Išvalytas silicis kristalizuojasi ant kristalinės
30 plokštelės, aušinant jos kitą paviršių pagal programą, leidžiančią pagrindiniame plokštelės
paviršiuje (kristalizacijos fronte) pasiekti pastovų peršaldymą ne mažesnę kaip 5 °C. Be to,
lydalyje maišomas tokiu greičiu, kad būtų užtikrintas ribinio difuzinio sluoksnio
formavimasis kristalizacijos fronte. Iš gauto kristalinio silicio Čochralskio ištraukimo būdu
gaminamas monokristalinis „saulės“ markės silicis pagal standartinę technologiją.

Šio būdo trūkumams galima priskirti:

1. Valomas tik metalurginis silicis.
2. Viename technologiniame procese vykdomi išvalyto silicio kristalizacijos ir techninio grynumo silicio priemaišų valymo procesai.
- 5 3. Metalurginio silicio įvedimas į lydžiojo metalo lydą vykdomas nepertraukiamai paduodant silicį į skystąją fazę, dėl to jo paviršiuje susidaro sluoksnis, sudarytas iš kietosios fazės susikristalizavusių metalurginio silicio dalelių ir šlako, kliudančio pašalinti lakiąsias priemaišas iš metalurginio silicio tirpalo lydžiojo metalo lydale.
4. Lydžiojo metalo pasirinkimas iš Ga, Sn, In, Al, Pb grupės nepakankamas, nes
10 neatsižvelgta į kitų lydžiųjų metalų bei jų grupės lydinių galimybes.
5. Lydalas maišomas tik sukant tigli apie ašį.
6. Nepašalinamas šlakas.
7. Silicio valymo ir kristalizacijos procesams naudojamas vienas lydisis metalas.
8. Nuolatinis peršaldymas 5 °C ir daugiau padeda susidaryti plokšteliniams kristalams
15 šalia luito kristalizacijos fronto.
9. Technologinis silicio gavimo procesas baigiasi, ištraukus plokštelę su užaugintu kristaliniu silicio luitu, t.y., yra cikliškas.

Išradimo esmė

20 Siūlomas techninio grynumo silicio valymo būdas technologiniais ypatumais užtikrina, kad iš techninio grynumo silicio bus pašalintos lakiosios priemaišos ir aukšto slėgio garų, sudarančių elektriškai aktyvius ir rekombinacinius centrus (Al, B, P, C, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti, V), priemaišos nuo 0,1 iki 10 ppm lygio, ir kad valymas bus realizuojamas nepertraukiamame gamybos procese. Toks būdas užtikrina „saulės“ markės silicio gavimą
25 saulės elementams gaminti.

Tai pasiekama tuo, kad technologiniai metodo ypatumai realizuojami tokiais etapais:

- 1 etapas. Pirminis priemaišų pašalinimas iš techninio grynumo silicio, kurį sudaro silicio ištirpinimas lydžiojo metalo lydale ir plokštelinių kristalų gavimas masinės kristalizacijos procesu.
- 30 2 etapas. Galutinis priemaišų pašalinimas iš techninio grynumo silicio, kurį sudaro pirmame etape gautų plokštelinių silicio kristalų ištirpinimas lydžiojo metalo lydale ir silicio kristalizavimas ant plokštelės.
- 3 etapas. Lakiųjų metalų atomų pašalinimas iš silicio – monokristalų auginimas kryptinės kristalizacijos būdu iš 2 etape gauto silicio.

Techninio silicio, kuriame yra metalurginio silicio ir šlamo, valymo būdas, kuriame pirminio priemaišų valymo etape techninio grynumo silicis periodiškai įvedamas įkrovomis į lydžiojo metalo, pasirinkto iš galio, alavo, indžio, švino, aliuminio, bismuto, cinko ir jų lydinų grupės lydalo paviršių, įkrovos nuleidžiamos į tiglio dugną, neleidžiant joms išplaukti. Lydalas intensyviai maišomas vakuume, panaudojant impulsinį jo prapūtimą inertinių dujų pagrindu sudarytu mišiniu, pašalinamas susidaręs šlakas. Toliau vyksta konvekcinis ištirpusio silicio masės pernešimas lydžiojo metalo skystosios fazės sluoksnyje, silicis kristalizuojasi plokštelių kristalų pavidalu. Kristalai išimami. Galutinio priemaišų valymo etape vykdomas periodinis plokštelių silicio kristalų įvedimas įkrovomis į lydžiojo metalo lydalo paviršių, intensyviai maišoma. Siliciu prisotintas lydalas perkeliamas iš tirpinimo srities į kristalizacijos sritį, kur silicis auginamas luito pavidalu ant silicio pokštelės, kurios kitas paviršius peršaldomas 0,5-3 °C temperatūrų intervale. Lydalas be silicio grąžinamas atgal į tirpinimo zoną, pašalinamas šlakas ir išimami silicio luitai. Nepertraukiamas procesas pagrįstas periodiniais silicio plokštelių kristalų išėmimais, plokštelių su užaugintais silicio luitais bei tiglių su daug kartų naudojamais lydalais keitimais. Lydžiujų metalų atomai pašalinami monokristalinio silicio auginimo procese iš silicio luitų, gautų baigiamajame priemaišų valymo etape, kryptinės kristalizacijos būdais.

Nuo žinomo technologinio sprendimo siūlomas metodas skiriasi šiais pagrindiniais požymiais:

1. Siūlomu metodu galima ne tik išvalyti metalurginį silicį, bet ir pašalinti šlamą, gautą atskyrus atliekas, susidarančias pjaustant silicio luitus į plokšteles. Tai įmanoma, nes techninio silicio valymo procesai lydžiojo metalo lydalo siūlomu būdu padalinti į du priemaišų šalinimo etapus – pirmą, pirminio valymo, ir antrą – galutinio valymo. Pirminis valymas naudojamas lakiosioms priemaišoms pašalinti valant metalurginį silicį bei elementiniam siliciui ištraukti iš šlamo į lydaus metalo lydalo, vėliau pašalinant šlakus, kuriuose yra silicio karbido, silicio dioksido ir kitų priemaišų. Galutinis valymas leidžia sumažinti pašalinamų priemaišų kiekį gautame silicio luite iki 1-10 ppm.
2. Kitaip nei prototipe, kuriame iš metalurginio silicio šalinamos priemaišos ir išvalyto silicio monokristalas auginamas dviem etapais, siūlomame metode šie procesai atliekami trimis etapais, dviejuose pirmuosiuose iš techninio švarumo silicio pašalinamos priemaišos, o trečiame – iš silicio kristalų pašalinami lydžiujų metalų atomai. Metalurginio silicio priemaišų valymo proceso padalinimą į du etapus sąlygojo tai, kad neįmanoma suderinti efektyvaus lakiųjų priemaišų šalinimo ir

- išvalytų silicio kristalų kristalizacijos viename technologiniame režime dėl esminių šių procesų optimalių temperatūrų skirtumo. Lakiųjų priemaišų išgarinimo temperatūros (1 lentelė) turi būti kuo didesnės, kad susidarytų kuo didesnis šių priemaišų slėgis, o silicio kristalų kristalizavimui temperatūra turi būti kuo mažesnė, kadangi sumažinus proceso temperatūrą augantys silicio kristalai sugriebtų mažiau priemaišų atomų. Priemaišos, perėjusios su valomąja medžiaga į lydą, jame būna mažomis koncentracijomis, toli nuo prisotinimo, todėl nesikristaluoja likdamos lydame. Pirmasis etapas užbaigiamas plokštelių silicio kristalų auginimu masinės kristalizacijos, kurią sąlygoja konvekcinis silicio pernešimas į lydalo paviršių dėl esminių silicio ir lydžiojo metalo tankių skirtumo, procese. Antras etapas baigiamas silicio luito formavimu ant aušinamos silicio plokštelės.
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
3. Kitaip nei prototipe, kuriame metalurginis silicis nepertraukiamai paduodamas į lydžiojo metalo lydą, siūlomame metode silicio įkrovos į lydą įvedamos periodinėmis įkrovomis, o tai neleidžia lydalo paviršiuje susidaryti sluoksniui iš kietosios susikristalizavusių metalurginio silicio ir šlako dalelių, kuris kliudo lakiųjų priemaišų pašalinimui iš lydžiojo metalo lydalo. Periodiškai įvedant plokštelių silicio kristalų įkrovas, gautas pirmajame valymo etape, į tirpinimo zoną ir perkeliant siliciu prisotintą lydą į kristalizacijos zoną, vėliau perkeliant lydą, iš kurio pašalintas silicis, atgal, galima valdyti išlydyto silicio masės patekimą prie plokštelės, optimizuojant luito augimą ant plokštelės.
 4. Kitaip nei prototipe, kuriame pasirinktas lydusis metalas iš grupės Ga, Sn, In, Al, Pb, pateiktame metode panaudoti šios grupės lydieji metalai, o taip pat Bi ir Zn. Panaudojus lydžiųjų metalų lydinis, galima pasiekti kontroliuojamą silicio tirpumo kitimą, esant duotai valymo proceso temperatūrai, o Bi ir Zn leidžia gauti plokštelines silicio kristalus su mažu tų metalų atomų kiekiu, kai jie naudojami kaip tirpikliai.
 5. Kitaip nei prototipe, kuriame lydą maišomas sukant tiglį apie ašį, pareikštame metode intensyvus lydalo maišymas vyksta sukant tiglį ir maišytuvą (arba silicio plokštelę) priešingomis kryptimis, o taip pat impulsais prapučiant lydą inertinėmis dujomis arba jų pagrindu sudarytu mišiniu, o tai leidžia sumažinti lakiųjų priemaišų koncentraciją lydame ir sukurti įvairius junginius su priemaišomis, kurios šlako pavidalu pašalinamos iš lydalo.

6. Kitaip nei prototipe, kuriame nėra šlakų pašalinimo, siūlomame metode šlakai nuo ladalo paviršiaus pašalinami nusiurbiant vakuumu, o tai leidžia lydųjų metalą panaudoti daug kartų.
7. Kitaip nei prototipe, kuriame naudojamas vienas lydusis metalas, valymo procese bei silicio kristalizacijos procese, pareikštame metode šiems procesams siūloma naudoti įvairius lydžiuosius metalus. Tai sąlygota tuo, kad pirmame etape būtina panaudoti mažo lakumo lydųjų metalą, o tai leidžia efektyviai pašalinti lakiąsias priemaišas, esant aukštomis valymo proceso temperatūroms ($T_1 \leq 1500$ K). Antrame etape, atliekant silicio kristalizaciją, būtina vykdyti auginimo procesą, esant žemoms temperatūroms, o tai leidžia panaudoti lakiuosius lydžiuosius metalus.
8. Kitaip nei prototipe, kuriame nuolatinis peršaldymas ant plokštelės ne mažiau kaip 5 °C, pareikštame metode nuolatinis peršaldymas vykdomas priekiniame plokštelės paviršiuje $0,5-3$ °C temperatūrų intervale, tai padeda siliciui kristalizuotis ant plokštelės ir neleidžia susidaryti plokšteliniams silicio kristalams lydale prie plokštelės. Kadangi šaldoma tik plokštelė, kristalizacija vyksta tik jos paviršiuje ir nevyksta lydale, esančiame aplink plokštelę, kur temperatūra žymiai aukštesnė už plokštelės. Dėl išcentrinių jėgų lydalo sraute, kurios susidaro sukantis tigliui, tiglio centre, kur yra plokštelė, formuojasi lengvosios lydalo frakcijos, prisotintos silicio, ir tai padeda efektyviai augti silicio luitui. Luito kristalizacijos greičio padidinimas, lyginant su prototipu, sąlygotas taip pat tuo, kad plokštei ir tigliui sukantis priešingomis kryptimis ribiniame sluoksnyje vyksta turbulentinis judėjimas.
9. Kitaip nei prototipe, kuriame technologinis silicio gavybos procesas baigiamas ištraukiant išauginto kristalinio silicio luito plokštelę, pareikštame metode techninio grynumo silicio valymo procesas nesustoja. Pirmas ir antras etapas vyksta nepertraukiamu procesu, ištraukiant silicio plokštelinius kristalus ir luitus bei periodiškai pakeičiant silicio plokšteles ir tiglius su daugkartinio naudojimo lydalais.

1 lentelė. Lakiųjų priemaišų išgarinimo temperatūrų reikšmės (K), esant garų slėgiui 10-2 mmHg

Elementas	T (K)	Elementas	T (K)	Elementas	T (K)
Arsenas (As ₄)	550	Fosforas (P)	458	Cezis (Cs)	428
Baris (Ba)	883	Švinas (Pb)	988	Europis (Eu)	884
Bismutas (Bi)	945	Siera (S)	382	Francis (Fr)	410
Kalcis (Ca)	870	Stibis (Sb)	806	Polonis (Po)	588
Kadmis (Cd)	538	Selenas (Se)	516	Radis (Ra)	830
Gyvsidabris (Hg)	319	Telūras (Te)	647	Rubidis (Rb)	446
Kalis (K)	481	Iterbis (Yb)	830	Talis (Tl)	882
Litis (Li)	810	Cinkas (Zn)	617	Stroncis (Sr)	810
Magnis (Mg)	712	Natris (Na)	562	Astatas (At)	364

5 Išradimo įgyvendinimo aprašymas

Pavyzdys.

Saulės markės p laidumo tipo silicio gavimas.

10 Metalurginis silicis valomas trimis etapais. Pirmajame etape naudotas silicis, kuriame buvo 98,5 masės % Si, ir SN-0000 markės alavas. Antrajame etape buvo naudojami išvalyti plokšteliniai silicio kristalai ir galis GA-0000, trečiame etape daugiausia iš silicio buvo valomi metalų–tirpiklių, naudojamų pirmame ir antrame etape, atomai. Kvarcinis 180 mm skersmens, 250 mm aukščio tiglis buvo pripildomas kambario temperatūros 25 kg masės alavo. Išsiurbus orą kameroje iki 10^{-2} mmHg, tiglis buvo kaitinamas iki 1150 °C temperatūros. Kvarcinio tiglio kaitinimo procese pro šliuzo kamerą į alavo lydinį buvo 15 įvedama metalurginio silicio įkrova, kurios masė - 1 kg ir kuri grotelėmis patalpinama tiglio dugne. Metalurginio silicio tirpinimas vyko impulsais prapučiant argonu kelias minutes, dujas įvedant per tuščiaidurį grotelių vamzdelį, tuo pat metu sukant tiglį, dėl to lydalis buvo intensyviai maišomas. Alavo paviršiuje susidarantis šlakas iš tiglio buvo pašalinamas, išsiurbiant vakuumu. Ištirpintas atominis silicis konvekciniu masės pernešimu skystoje alavo 20 lydalo fazėje kilo aukštyn pro grotelių angas ir kristalizavosi paviršiuje plokštelių silicio kristalų pavidalu, stambios silicio dalelės buvo atrūšiuojamos grotelių angomis. Plokšteliniai silicio kristalai, gauti iš vienos įkrovos, buvo 2-5 mm linijinio dydžio, iš lydinio buvo atskiriami ir iškeliami grotelėmis. Tiglyje, viename alavo lydalo, silicis buvo valomas

periodiškai įvedant 40-50 įkrovų, po to tiglio buvo keičiamas nauju su SN-0000 markės alavu, dėl to technologinis priemaišų iš silicio valymo procesas vyko nepertraukiamai. Gaunami plokšteliniai silicio kristalai grotelėmis buvo traukiami iš tiglio, kaupiami ir sandėliuojami antro etapo valymui.

- 5 Antrame etape kambario temperatūroje kvarcinis 180 mm skersmens, 250 mm aukščio tiglio buvo pripildomas 25 kg masės galio. Į tigli buvo dedamas įtaisas plokštelinio silicio įkrovoms įkrauti. Kvarcinio tiglio kaitinimo iki 1000 °C procese į įkrovimo įtaisa buvo įvedama 100 g plokštelių silicio kristalų įkrova, kuri buvo tirpdoma intensyviai maišomame galio lydalo. Maišymas vyko sukant maišytuvą ir tigli išvalyto argono terpėje.
- 10 Prisotinus galio lydalą siliciu, jis buvo perkeliamas į kristalizacijos zoną, kurioje tuo pat metu, įkraunant įkrovas, buvo įvedama silicio plokštelė, kurios priekiniame paviršiuje buvo sukuriamas nuolatinis peršaldymas 0,5-3 °C temperatūrų intervale. Silicis buvo auginamas ant plokštelės 10 minučių nepertraukiamai maišomo lydalo sraute, tekančiame pro besisukančią silicio plokštelę. Ir lydalas, iš kurio buvo pašalintas silicis, kristalizuojant
- 15 pastarąjį ant plokštelės, buvo perkeliamas į įtaisą įkrovoms įkrauti, pašalinant susidariusį šlaką. Per vieną valandą, periodiškai įvedant 100 g įkrovas, ant vienos plokštelės buvo išauginamas 200 g masės kristalinio silicio luitas, iš tiglio buvo ištraukiama 4 kg silicio per 12 valandų, po to buvo įvedama nauja plokštelė, ant kurios vėl buvo auginamas luitas. Viename galio lydalo ant 20-25 plokštelių buvo išauginama 4-5 kg išvalyto silicio. Po to
- 20 tiglio buvo keičiamas nauju, kuris pripildomas GQ-0000 markės galiu, ir procesas kartojamas. Technologinis priemaišų iš silicio valymo procesas vyko nepertraukiamai, periodiškai keičiant įkrovas, plokšteles ir tiglius. Pagrindinėmis priemaišomis silicio luituose buvo galis, kurio koncentracija $3 \times 10^{19} \text{ cm}^3$. Tokiuose kristaluose nebuvo pastebėta karkasinių augimo formų, o taip pat įstrigusio lydalo, ir likutinis priemaišų kiekis buvo
- 25 mažesnis kaip 1-10 ppm. Iš keičiamų tiglių buvo išimami plokšteliniai silicio kristalai, susidarantys aušinant lydalus, atskiriami nuo lydalo apdorojant rūgštimi ir sandėliuojami kartu su plokšteliniais silicio kristalais, gautais pirmuoju valymo etapu.

- Trečias metalurginio silicio valymo etapas buvo vykdomas perkristalizuojant antruoju etapu gautus silicio luitus kryptinės kristalizacijos metodu, kad būtų pašalinti alavo
- 30 ir galio atomai ir sumažinta liekamųjų priemaišų koncentracija (2 lentelė), auginant tūrinį monokristalinio silicio luitą iš gautų luitų lydinio. Metalurginis silicis po 3 etapų valymo buvo p laidumo tipo, jo lyginamoji varža iki 10 Ω/cm , elektronų gyvavimo laikas virš 100 ms. Toks silicis tinkamas gaminti didelio efektyvumo saulės elementams.

2 lentelė. Liekamųjų priemaišų koncentracija.

Elementas	Segregacijos koeficientas	Temperatūra (K), esant garų slėgiui $P=10^{-2}$ mmHg
Boras (B)	8×10^{-1}	3200
Fosforas (P)	$3,5 \times 10^{-1}$	458
Geležis (Fe)	8×10^{-6}	1750
Chromas (Cr)	$1,1 \times 10^{-5}$	1670
Manganas (Mn)	10^{-5}	1210
Nikelis (Ni)	$(8-30) \times 10^{-6}$	1800
Titanas (Ti)	$3,6 \times 10^{-6}$	2010
Vanadis (V)	8×10^{-6}	2120
Galis (Ga)	8×10^{-3}	1405
Alavas (Sn)	$1,5 \times 10^{-2}$	1520

Pramoninis pritaikymas

Techninio grynumo silicio valymui panaudotos įrangos ir medžiagų parametrai:

Nr.	Charakteristikos pavadinimas	Mato vnt.	Techninės charakteristikos
1	Tiglio skersmuo	mm	406 (300)
2	Lydžiojo metalo įkrovos masė	kg	200 (150)
3	Techninio grynumo silicio įkrovos masė	kg	10 (8)
4	Konteinerio svoris su talpomis	kg	ne daugiau 20
5	Laikiklio judėjimo mechanizmo eiga	mm	500
6	Laikiklio judėjimo greitis	mm/min	300
7	Silicio valymo proceso temperatūra	°C	1000
8	Įrenginio našumas	kg/para	100
9	Slėgis silicio valymo kameroje	mmHg	2×10^{-3}
10	Inertinių dujų išeiga	l/val.	600÷1000
11	Šaldomo vandens išeiga	m ³ /val.	4
12	Šaldomo vandens slėgis	MPa	0,3
13	Suvartojamas galingumas	kW	80
14	Tinklo įtampa	V	380
15	Tinklo dažnis	Hz	50

Išradimo apibrėžtis

1. Silicio valymo būdas, apimantis silicio priemaišų šalinimą, tirpinant silicį su priemaišomis priverstinai maišomo lydžiojo metalo lydalo tiglyje, lydžiojo metalo parinkamą iš grupės, sudarytos iš galio, alavo, indžio, švino, aliuminio, ir ištirpinto silicio konvekcinių masės pernešimą lydalo skystoje fazėje prie kristalizacijos fronto bei kristalizavimą ant plokštelės, kurios priekinis paviršius peršaldomas, kristalinio silicio ištraukimą iš lydinio ir lydžiųjų metalų atomų šalinimą, kryptinės kristalizacijos metodu, auginant monokristalinį silicį, besiskiriantis tuo, kad silicio priemaišų šalinimą vykdo trimis etapais:

per pirminį priemaišų šalinimą silicį įkrovos pavidalu periodiškai įveda į vieno iš lydžiųjų metalų lydalo paviršių, silicio įkrovą nuleidžia į tiglio dugną, neleidžiant jai išplaukti, priverstinį lydinio maišymą vykdo vakuume ir maišomą lydinį papildomai prapučia inertinių dujų pagrindu sudarytu dujų mišiniu, susidariusį šlamą nuo lydinio paviršiaus nusiurbia vakuumu, išima ištirpinto silicio konvekciniu masės pernešimu lydalo paviršiuje susikristalizavusį silicį plokštelinių kristalų pavidalu;

antrajame priemaišų šalinimo etape plokštelinių silicio kristalų, gautų pirminiame priemaišų šalinimo etape, įkrovą įveda į kito lydžiojo metalo lydala, kurį intensyviai maišo, siliciu prisotintą tirpalą perkelia iš tirpinimo srities į kristalizacijos sritį, kur silicio luitą augina ant silicio plokštelės, kurios priekinis paviršius nuolat peršaldomas, pašalina šlaką ir išima ant plokštelės užaugintą silicio luitą;

trečiajame silicio valymo etape perkristalizuoja antruoju etapu gautus silicio luitus kryptinės kristalizacijos metodu, kad būtų pašalinti abiejų lydžiųjų metalų atomai.

2. Silicio valymo būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad iš lydžiųjų metalų silicio valymui dar naudoja bismutą, cinką, o taip pat galio, alavo, indžio, švino, aliuminio, bismuto, cinko lydinius

3. Silicio valymo būdas pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad minėtas silicio plokštelės priekinis paviršius nuolat peršaldomas 0,5-3 °C temperatūrų intervale.

4. Silicio valymo būdas pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, besiskiriantis tuo, kad lydžiojo metalo lydala, iš kurio pašalintas silicis, grąžina į silicio tirpinimo sritį, periodiškai keičia tiglius su daugkartinio naudojimo lydžiojo metalo lydalais.

5. Silicio valymo būdas pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, besiskiriantis tuo, kad antrajame priemaišų šalinimo etape lydžiojo metalo lydą maišo, sukant tiglą ir silicio plokštelę priešingomis kryptimis.