ČESKOSLOVENSKÁ SOCIALISTICKÁ REPUBLIKA
(19)

ÚŘAD PRO VYNÁLEZY A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

245079
(11) (B1)

(51) Int. Cl.[4]
H 05 B 6/02

(22) Přihlášeno 14 12 84
(21) (PV 9768-84)

(40) Zveřejněno 16 07 85

(45) Vydané 15 12 87

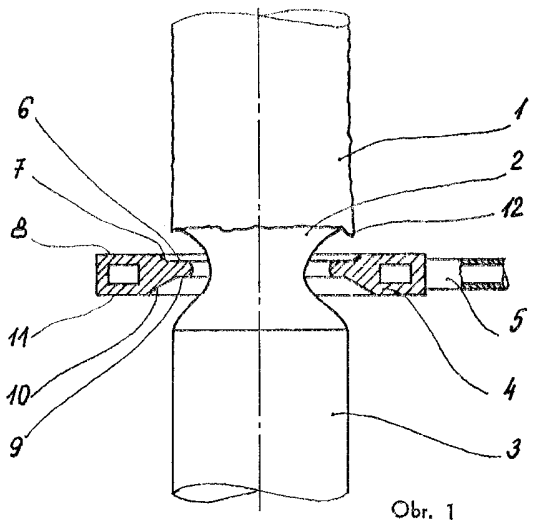
(75)
Autor vynálezu ZÁTOPEK FRANTIŠEK ing., SMEJKAL VILÉM RNDr., ROŽNOV pod Radhoštěm

(54) Induktor pro přípravu polovodičových krystalů metodou letmé zonální tavby s indukčním ohřevem

1

Podstata řešení spočívá v tom, že těleso induktoru, jehož vnitřní průměr je menší než průměr polykrystalického ingotu a vnější průměr větší než průměr rostoucího krystalu, je na straně polykrystalického ingotu vymezeno horním vnějším a horním vnitřním mezikružím, mezi kterými je zlom tvořený pláštěm horního komolého kužele s průměrem dolní podstavy rovným maximálnímu průměru polykrystalického ingotu, jehož funkcí je odtavování výčnělků pevné fáze na obvodu polykrystalického ingotu. Na straně rostoucího krystalu je těleso induktoru vymezeno dolním vnitřním a dolním vnějším mezikružím, mezi kterými je zlom tvořený pláštěm dolního komolého kužele s průměrem horní podstavy rovným střednímu průměru rostoucího krystalu, jehož funkcí je vytváření rovnováhy mezi gravitační silou, povrchovým napětím a elektrodynamickými silami na povrchu roztavené zóny nad rostoucím krystalem.

2



Obr. 1

Vynález se týká induktoru pro přípravu polovodičových krystalů metodou letmé zonální tavby s indukčním ohřevem ve vertikálním uspořádání.

Při přípravě polovodičových, zejména křemíkových, krystalů o průměru nad 30 mm metodou letmé zonální tavby s indukčním ohřevem ve vertikálním uspořádání se pro vytvoření roztavené zóny využívá měděných nebo stříbrných induktorů, jejichž vnitřní průměr je menší než průměr polykrystalického ingotu a vnější průměr větší než průměr rostoucího krystalu. Jejich konstrukce musí současně zajišťovat dokonalé protavení roztavené zóny, spojité odtavování obvodu polykrystalického ingotu a růst krystalu s minimální nehomogenitou jeho elektrofyzikálních vlastností.

V současné době se používají dva základní typy induktorů: dvou nebo vícezávitové induktory se závity paralelně připojenými ke společnému zdroji vysokofrekvenčního proudu a jednozávitové induktory tvořené rotačním tělesem. Je známa celá řada konstrukcí vícezávitových induktorů, pro něž je charakteristická nehomogenita elektromagnetického pole v oblasti přívodů. Za účelem zlepšení odtavování obvodu polykrystalického ingotu a protavování roztavené zóny bývá tato nehomogenita pole ještě zvětšována tvarováním přívodů nebo asymetrií vnitřních závitů tak, aby došlo k lokálnímu zvětšení intenzity elektromagnetického pole, jež v souvislosti s rotací polykrystalického ingotu zajišťuje dokonalé protavení roztavené zóny a odtahování obvodu polykrystalického ingotu. Nevýhodou těchto řešení je, že lokální zvětšení intenzity elektromagnetického pole se nepříznivě projevuje na vlastnostech rostoucího krystalu. Při rotaci rostoucího krystalu dochází v této oblasti k opětovnému roztavení a zatuhnutí části rostoucího krystalu, což má za následek vytváření mikronehomogenit rozložení legující příměsi. Podstatně lepší symetrii elektromagnetického pole mají jednozávitové induktory tvořené rotačním tělesem, jejichž profily jsou srovnatelné s profily vícezávitových induktorů. Lepší symetrie se však neprojevuje jen v oblasti dolního rozhraní fází, tj. v místě, kde narůstá krystal, ale také v oblasti horního rozhraní fází, zejména na obvodu odtavujícího se polykrystalického ingotu. Není-li polykrystalický ingot dokonale válcového tvaru, mohou v tomto místě vznikat drobné, svisle orientované výčnělky pevné fáze, které v případě, že teplotní a elektrodynamické podmínky neumožňují jejich vtavení do roztavené zóny, se prodlužují úměrně s posuvem roztavené zóny, až dojde k jejich kontaktu s induktorem, jenž brání plynulému přísuvu tavicího se polykrystalického ingotu, nebo je příčinou vysokofrekvenčního výboje a tím i přerušení tavby. Jsou známy konstrukce, které problémy symetrie elektromagnetického pole jednozávitových induktorů tvořených rotačním tělesem řeší šikmým vedením přívodů (pat. NSR 28 12 216), mírnou asymetrií kružnic vymezujících vnitřní a vnější průměr induktoru (pat. NSR 27 37 035), symetrickými zářezy v tělese induktoru (pat. NSR 25 38 854), dodatečnými přívody nad tělesem induktoru (ČSSR AO 220 628) nebo prostorově tvarovaným závitem přiléhajícím k horní ploše induktoru (pat. NSR 28 12 216). Tato řešení sice vyhovují podmínkám kladeným na odtavování polykrystalického ingotu, protavení roztavené zóny a symetrii elektromagnetického pole v místě narůstání krystalu, ale jen v úzkém rozmezí rychlosti rotace polykrystalického ingotu, což znemožňuje použití tohoto parametru tavby při stanovení optimálních podmínek tavby, popř. provádět tavbu bez rotace polykrystalického ingotu. Tělesa těchto induktorů jsou přitom na straně rostoucího krystalu omezena rovinou nebo experimentálně ověřenou plochou. Řešení, jež by uvádělo tvar této plochy do souvislostí s průměrem rostoucího krystalu, není známo.

Uvedené nedostatky odstraňuje induktor pro přípravu polovodičových krystalů metodou letmé zonální tavby s indukčním ohřevem podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že těleso induktoru je na straně polykrystalického ingotu vymezeno horním vnitřním mezikružím s vnějším průměrem rovným maximálnímu průměru polykrystalického ingotu, pláštěm horního komolého kužele výšky 1 až 2 mm s vrcholovým úhlem 60° až 120° a průměrem dolní podstavy rovným vnějšímu průměru horního vnitřního mezikruží a horním vnějším mezikružím s vnitřním průměrem rovným průměru horní podstavy pláště horního komolého kužele. Je výhodné, aby těleso induktoru bylo na straně rostoucího krystalu vymezeno dolním vnitřním mezikružím s vnějším průměrem rovným střední hodnotě průměru rostoucího krystalu, pláštěm dolního komolého kužele výšky 2 až 5 mm s vrcholovým úhlem 90° až 150° a průměrem horní podstavy rovným vnějšímu průměru dolního vnitřního mezikruží a dolním vnějším mezikružím s vnitřním průměrem rovným průměru dolní podstavy pláště dolního komolého kužele.

Při tavbě mechanicky neopracovaného polykrystalického ingotu vznikají na jeho obvodu na rozhraní polykrystalického ingotu a roztavené zóny výčnělky pevné fáze, které se při pohybu roztavené zóny vůči polykrystalickému ingotu přibližují až do vzdálenosti 2 až 3 mm od tělesa induktoru. V tomto místě dochází po celém obvodu polykrystalického ingotu vlivem zlomu na tělese induktoru vytvořenému pláštěm horního komolého kužele k intenzívnějšímu ohřevu a ke zvětšení radiální složky vektoru elektrodynamické síly, kterou induktor působí na obvod polykrystalického ingotu. Tím je zajištěno protavení výčnělků pevné fáze a je

jich vtavení do roztavené zóny bez ohledu na rychlost rotace polykrystalického ingotu. Rovnováha gravitační síly, povrchového napětí a elektrodynamických sil je na povrchu roztavené zóny nad rostoucím krystalem, tj. v místě kritickém pro spojitý růst krystalu ve tvaru válce, zajišťována zlomem na tělese induktoru vytvořeným pláštěm dolního komolého kužele, jenž proti silám vyvolávajícím změnu tvaru roztavené zóny působí změnou radiální složky vektoru elektrodynamické síly.

Příkladné provedení induktoru podle předloženého vynálezu je znázorněno na přiloženém výkresu, na němž obr. 1 představuje osový řez induktorem s polykrystalickým ingotem, roztavenou zónou a rostoucím krystalem a obr. 2 představuje půdorys induktoru z obr. 1.

Jak vyplývá z obr. 1 a 2, tvoří těleso induktoru **4**, polykrystalický ingot **1**, roztavená zóna **2** a rostoucí krystal **3** osově symetrickou soustavu. Dutina v tělese induktoru **4** navazuje na duté přívody **5** připojené ke zdroji vysokofrekvenčního proudu a umožňuje chlazení tělesa induktoru **4** v průběhu tavby. Těleso induktoru **4** je na straně polykrystalického ingotu **1** vymezeno třemi plochami: horní vnitřní mezikruží **6** protahuje roztavenou zónu **2** nad úrovní tělesa induktoru **4**, horní vnější mezikruží **8** zahřívá polykrystalický ingot **1** a plášť horního komolého kužele **7** protavuje výčnělky pevné fáze **12** a vtahuje je do roztavené zóny **2**. Na straně rostoucího krystalu **3** je těleso induktoru **4** vymezeno třemi plochami: dolní vnitřní mezikruží **9** protavuje roztavenou zónu **2** pod úrovní tělesa induktoru **4**, dolní vnější mezikruží **11** zahřívá rostoucí krystal **3** a plášť dolního komolého kužele **10** zajišťuje rovnováhu gravitační síly, povrchového napětí a elektrodynamických sil na povrchu roztavené zóny **2** nad rostoucím krystalem **3**.

Příprava polovodičových krystalů metodou letmé zonální tavby s indukčním ohřevem se provádí v evakuované nebo inertním plynem napuštěné komoře zahřívání. Tato komora je v případě vertikálního souosého uspořádání opatřena dvěma vertikálně uloženými na sobě nezávisle pohyblivými hřídeli. Na horní hřídeli je připevněn polykrystalický ingot přibližně válcového tvaru, na dolní hřídeli je připevněn monokrystalický zárodek. K induktoru, uloženému uprostřed komory zařízení, jsou od oscilačního obvodu vysokofrekvenčního generátoru přiváděny vysokofrekvenční proudy. Vířivými proudy naindukovanými na dolním konci polykrystalického ingotu se polykrystalický ingot zahřívá, až na něm dojde k vytvoření kapky taveniny kuželového tvaru. Po spojení taveniny s monokrystalickým zárodkem v prostoru uvnitř induktoru se při rotaci a pohybu obou hřídelí směrem dolů nechá na monokrystalickém zárodku narůstat krystal. Tvar induktoru a rychlosti posuvu a rotací hřídelí jsou voleny tak, aby byly zajištěny optimální podmínky růstu krystalu při spojitém odtavení polykrystalického ingotu. Obě tyto podmínky lze při přípravě krystalů křemíku o průměru 37 až 41 mm, pro něž jsou používány mechanicky neopracované polykrystalické ingoty o průměru až 42 mm, splnit pomocí induktoru, jehož těleso má vnitřní průměr 31 mm, vnější průměr 74 mm a maximální výšku 8 mm. Na straně polykrystalického ingotu je těleso induktoru vymezeno horním vnitřním mezikružím a horním vnějším mezikružím, mezi kterými je zlom tvořený pláštěm horního komolého kužele s vrcholovým úhlem 90°, výšky 1,5 mm a průměrem dolní podstavy 42 mm. Na straně rostoucího krystalu je těleso induktoru vymezeno dolním vnějším mezikružím a dolním vnitřním mezikružím, mezi kterými je zlom tvořený pláštěm dolního komolého kužele s vrcholovým úhlem 120°, výšky 3 mm a průměrem horní podstavy 39 mm. Funkcí horního a dolního vnitřního mezikruží je protavení celého objemu roztavené zóny. Horní vnější mezikruží zahřívá polykrystalický ingot, dolní vnější mezikruží zahřívá rostoucí krystal. Plášť horního komolého kužele protavuje výčnělky pevné fáze na obvodu polykrystalického ingotu a vtavuje je do roztavené zóny. Plášť dolního komolého kužele zajišťuje rovnováhu gravitační síly, povrchového napětí a elektrodynamických sil na povrchu roztavené zóny nad rostoucím krystalem, tj. v místě kritickém pro úspěšný růst krystalu.

Využití vynálezu usnadňuje výrobu polovodičových, zejména křemíkových, krystalů.

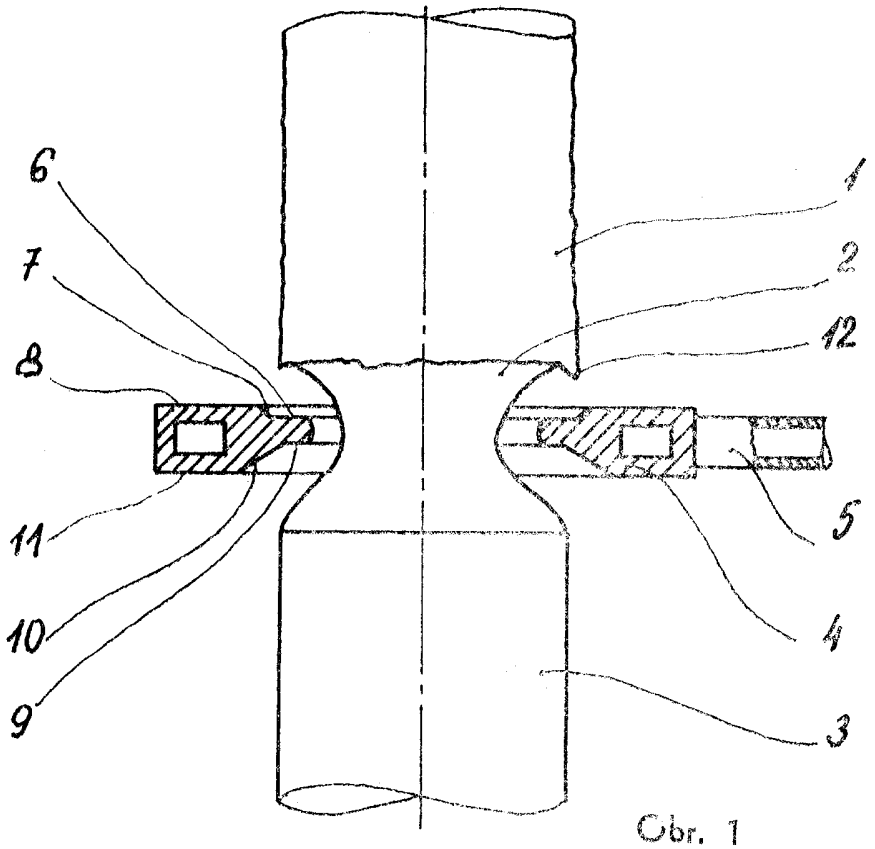
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Induktor pro přípravu polovodičových krystalů metodou letmé zonální tavby s indukčním ohřevem ve vertikálním uspořádání tvořený rotačně symetrickým tělesem s vnitřním průměrem menším, než je průměr polykrystalického ingotu a vnějším průměrem větším, než je průměr rostoucího krystalu, vyznačený tím, že těleso induktoru (4) je na straně polykrystalického ingotu (1) vymezeno horním vnitřním mezikružím (6) s vnějším průměrem rovným maximálnímu průměru polykrystalického ingotu (1), pláštěm horního komolého kužele (7) výšky 1 až 2 mm s vrcholovým úhlem 60° až 120° a průměrem dolní podstavy rovným vnějšímu průměru horního vnitřního mezikruží (6) a horním vnějším mezikružím (8) s vnitřním průměrem rovným průměru horní

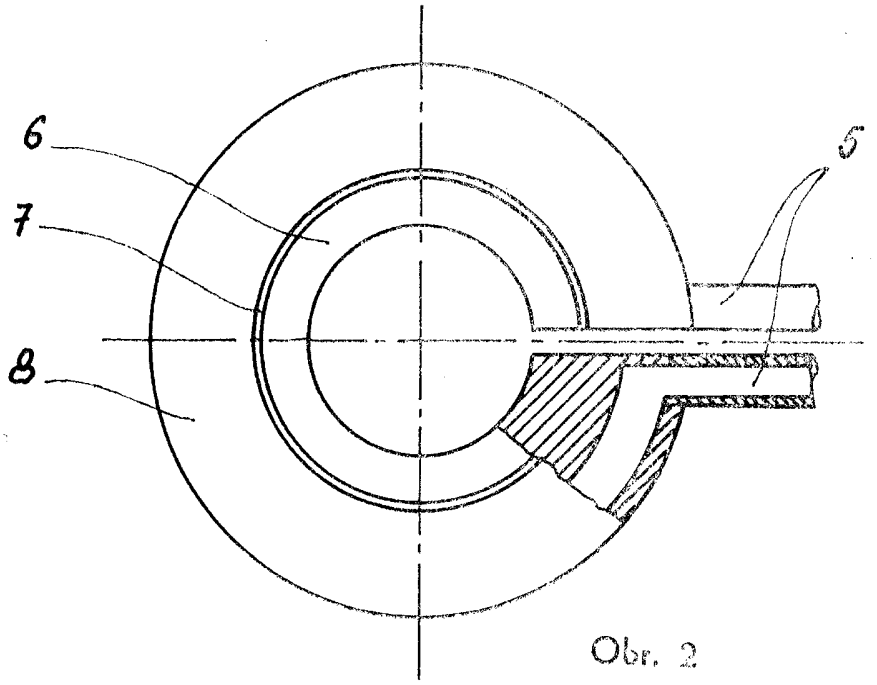
podstavy pláště horního komolého kužele (7).

2. Induktor pro přípravu polovodičových krystalů metodou letmé zonální tavby s indukčním ohřevem podle bodu 1, vyznačený tím, že těleso induktoru (4) je na straně rostoucího krystalu (3) vymezeno dolním vnitřním mezikružím (9) s vnějším průměrem rovným střední hodnotě průměru rostoucího krystalu (3), pláštěm dolního komolého kužele (10) výšky 2 až 5 mm s vrcholovým úhledm 90° až 150° a průměrem horní podstavy rovným vnějšímu průměru dolního vnitřního mezikruží (9) a dolním vnějším mezikružím (11) s vnitřním průměrem rovným průměru dolní podstavy pláště dolního komolého kužele (10).

1 list výkresů



Obr. 1



Obr. 2