



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU 213 699

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 16. 12. 80
(21) PV 8886-80

(11)

(B1)

(51) Int. Cl.³ H 05 B 6/30

(40) Zveřejněno 31. 07. 81
(45) Vydáno 01. 04. 84

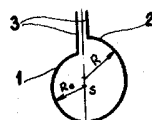
(75)
Autor vynálezu

ZBOŘÍLEK ALEŠ ing.,
MRÁZEK DUŠAN prem.chem.,
DANIČEK ZDENĚK, PRAHA
ZÁTOPEK FRANTIŠEK ing.,
SMEJKAL VILÉM prem.fyz., ROŽNOV POD RADHOŠTĚM

(54) Zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení

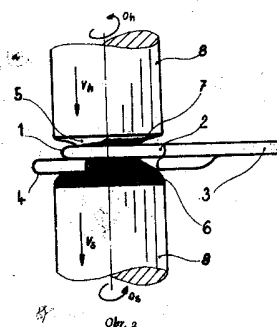
Vynález se týká zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení vysoce čistého materiálu, např. Křemíku, které je vhodné zejména pro velké průměry zpracovávaného ingotu.

Zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení obsahuje indukční soustavu, skládající se z hlavní ohřívací a pomocné stabilizační cívky připojené k témuž zdroji proudu, kde hlavní ohřívací cívka má nejméně dvě tvarevě odlišné části, navazující na sebe spojitě v jedné rovině kelmé na osu rotace ingotu, z nichž první část nebo části bližší k ose rotace ingotu mají tvar kruhového oblouku se středem v ose rotace ingotu o poloměru menším, než je poloměr taveného ingotu, zatímco druhá část nebo části mají tvar oblouku křivky se spojitě a monotonně se zvětšující vzdáleností od osy rotace ingotu, s největší vzdáleností rovnou nejméně poloměru ingotu, přičemž na obě části hlavní ohřívací cívky, jsou radiálně připojeny přívody.



Obr. 1

213 699



Obr. 2

Vynález se týká zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení vysoce čistého materiálu, které je vhodné zejména pro velké průměry zpracovávaného ingotu.

K teplotnímu zpracování vysoce čistého materiálu, např. k výrobě monokrystalů polovodičového křemíku, se často používá tzv. letmé pásmové tavení, kde zpracováváný materiál ve tvaru obvykle válcovitého ingotu, upnutého v příslušné aparatuře, je místně taven za současného postupu taveného pásma ve směru podélné osy ingotu. K ohřevu slouží ohřívací indukční soustava, kterou protéká vysokofrekvenční proud a která obepíná roztavené pásmo v rovině kolmé k podélné ose ingotu. Konstrukce ohřívací indukční soustavy, zvláště pak tvar, rozměry a umístění hlavní ohřívací cívky vzhledem k tavenému ingotu mají rozhodující vliv na plynulest tavení, stabilitu roztaveného pásma a tvar krystalizačního rozhraní.

Je známa řada zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení, řešících problém stability taveného pásma. Dosud se v běžné praxi používá indukčních soustav s různě provedenými závitů nakrátko, jejichž účinek spočívá v deformaci elektromagnetického pole. Následkem toho se teplo vyvíjí pouze v části ingotu, která je omezena závitů nakrátko a výsledné snížení osevé výšky pásma se projeví ve zlepšení jeho stability. Nevýhodou indukčních soustav se závitů nakrátko je nízká účinnost, labilita při vyšších rychlostech posuvu taveného pásma a praktická nepoužitelnost pro průměry ingotů větší než 30 mm.

Dále jsou známa zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení, kde podobného účinku jako u indukčních soustav se závitů nakrátko se dosahuje pomocnými cívkami, napájenými v opačném smyslu z téhož zdroje proudem stejného kmitočtu jako hlavní ohřívací cívka. Pomocné cívky je možné rovněž napájet z pomocného zdroje proudem nižšího kmitočtu, kde se stabilizačního účinku dosahuje využitím podpůrných elektrodynamických sil. Nevýhodou obou těchto typů známých zařízení s pomocnými cívkami je, kromě obdobných závad jako u indukčních soustav se závitů nakrátko, i jejich poměrně složitá konstrukce.

V poslední době se nejčastěji používá pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení velkých průměrů ingotu hlavních ohřívacích cívek obvykle kruhového tvaru nebo tvarů blízkých kruhovému, s vnitřním průměrem menším až podstatně menším než je průměr taveného ingotu, s poměrem obou průměrů 1 : 1 až 1 : 2. Tento typ zařízení využívá ke snížení výšky pásma, tudíž k zlepšení jeho stability, deformace elektromagnetického pole částí vlastního, taveného ingotu, tj. zdola kapalného pásma a shora taveného ingotu. Účinek je obdobný jako u výše uvedených indukčních soustav se závitů nakrátko s tím rozdílem, že energie potřebné k deformaci elektromagnetického pole se současně využívá k vlastnímu tavení a použitelnost takovýchto zařízení se rozšiřuje pro větší průměry tavených ingotů. Ke zlepšení účinku se mnohdy používají i u těchto indukčních soustav pomocné cívky jako u výše uvedených zařízení.

I tato zařízení mají některé nevýhody, z nichž nejvýznamnější je sklon k tvorbě kroužků neroztaveného materiálu v roztaveném pásmu, které pásmo deformují a po jejichž protavení dochází k periodickému porušování rovnováhy vlivem zvýšení hydrostatického tlaku. Proces tvoření a opětného protavování těchto kroužků je rušivý, neboť se tím tvar pásma neustále mění, což znesnadňuje dodržování plynulého tavení zvláště při růstu monokrystalů. Další

213 698

vážnou nevýhodou je tvorba neroztavených výstupků, jež se při postupu roztaveného pásma přibližují k hlavní ohřívací cívce a při dotyku jsou zdrojem vysokofrekvenčních výbojů, jež mohou způsobit naprosté znehodnocení pásmové tavby.

Výše uvedené nedostatky dosud známých zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení jsou odstraněny zařízením podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že hlavní ohřívací cívka má nejméně dvě tvarově odlišné části, navazující na sebe spojitě v jedné rovině kolmé na osu rotace ingotu, z nichž první část nebo části bližší k ose rotace ingotu má tvar kruhového oblouku se středem v ose rotace ingotu o poloměru menším, než je poloměr taveného ingotu, zatímco druhá část nebo části má tvar oblouku křivky se spojitě a monotónně se zvětšující vzdáleností od osy rotace ingotu, s největší vzdáleností rovnou nejméně poloměru ingotu, přičemž na obě části hlavní ohřívací cívky jsou radiálně připojeny přívedy.

Tvarovým a funkčním rozlišením částí hlavní ohřívací cívky zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení podle vynálezu se docílí řízeného přenosu vysokofrekvenční energie do roztaveného pásma a na tavený ingot v potřebném poměru odpovídajícím technologickému záměru. Tento poměr a těžiště působení vysokofrekvenční energie lze řídit, v závislosti na druhu tavby, průměru ingotu a rychlosti posuvu, poloměrem první tepné části (částí) ohřívací cívky a délkou jejího oblouku ve vztahu k tvaru křivky druhé - natahovací části ohřívací cívky, což je významné zvláště k dosažení stabilního pásma a pro usměrňování tvaru krystalizačního rozhraní při tavbě sloužící k přípravě monokrystalů, zejména křemíku. Uspořádáním podle vynálezu je docíleno odstranění nebezpečí tvorby neroztavených výstupků a kroužků, vedoucích k vážným poruchám pásmového tavení.

Na výkresu jsou zobrazeny příklady základních provedení podle vynálezu. Na obr. 1 je základní teoreticky zdůvodněný tvar hlavní ohřívací cívky v půdorysu, na obr. 2 je praktický příklad uspořádání indukční soustavy s využitím základního tvaru hlavní ohřívací cívky podle obr. 1 v bokorysu, na obr. 3 je indukční soustava podle obr. 2 v půdorysu a na obr. 4 je její další alternativní provedení.

Hlavní ohřívací cívka (obráz. 1) se skládá z první části 1 tvořené obloukem půlkružnice se středem S o poloměru R_0 , na který plynule navazuje druhá část 2, tvořená obloukem spirály, vymezeným úhlem π (180°) funkce $R = a\sqrt{\varphi}$.

Na obě části 1 a 2 navazují radiálně přívedy 3. Podmínkou této konstrukce hlavní ohřívací cívky je platnost nerovnosti $R_0 \leq R_1$, kde R_1 je poloměr taveného válcového ingotu.

Na obr. 2 je zobrazena hlavní ohřívací cívka opět sestavená z první části 1 ve tvaru půlkružnice a z druhé části 2 ve tvaru oblouku spirály funkce $R = a\sqrt{\varphi}$ vymezeného úhlem π .

Na obě části 1, 2 jsou radiálně připojeny přívedy 3. Paralelně k přívodům 3 hlavní ohřívací cívky je připojena pomocná stabilizační cívka 4 ve tvaru kruhu, která zvyšuje stabilitu roztaveného pásma 6 válcového ingotu 8. Vlivem tvaru druhé části 2 hlavní ohřívací cívky se vytvoří na horní části nastavení 5 ingotu 8 odtokový kanálek 7.

Na obr. 3 je zobrazena indukční soustava podle obr. 2 v půdorysu, ve směru osy rotace ingotu, procházející středem S.

Na obr. 4 je příklad konstrukce indukční soustavy, kde hlavní ohřívací cívka se skládá

z první části 1 ve tvaru půlkružnice se středem v ose rotace ingotu a druhé a třetí části 2, 2' ve tvaru půlelipsy s délkou vedlejší poloosy rovnou poloměru půlkružnice a s délkou hlavní poloosy rovnou poloměru taveného ingotu. Hlavní ohřívací cívka je přitom symetrická podle hlavní poloosy půlelipsy. Všechny části indukční soustavy jsou z důvodů chlazení v praxi vyrobeny např. z měděné trubky průměr 4 až 6 mm.

Zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení podle vynálezu obsahuje indukční soustavu, jejíž hlavní ohřívací cívka se skládá vždy z nejméně dvou tvarově a funkčně odlišných částí, z nichž první část 1 (nebo části) bližší ose rotace ingotu má tvar kruhového oblouku o poloměru menším, poloměru taveného ingotu se středem v jeho ose rotace a obepíná nejužší část roztaveného pásma ve vzdálenosti 1 až 3 mm. Vlivem takto těsné vysokofrekvenční vazby slouží tato první část 1 převážně k předávání energie do roztaveného pásma. Druhá část (nebo části) 2 hlavní ohřívací cívky, bezprostředně navazující na část první má tvar a velikost velenou empiricky nebo výpočtem ve vztahu k požadovanému tvaru na tavení rotujícího ingotu nad roztaveným pásmem 6 a hlavní ohřívací cívkou. Kolmá vzdálenost druhé části 2 hlavní ohřívací cívky od taveného ingotu 8 je malá a rovněž nepřekročí v žádném místě hodnotu 1 až 3 mm. Tato druhá část 2 je tedy velmi těsně elektricky vázána na tavený ingot 8 nad oblastí roztaveného pásma 6 a slouží především k přímému tavení rotujícího ingotu 8, zatímco vysokofrekvenční vazba do roztaveného pásma 6 je vlivem většího odstupu potlačena.

Tvarem druhé části 2 ohřívací cívky, jejíž vzdálenost od rotační osy ingotu 8 se spojitě zvětšuje až na vzdálenost poloměru ingotu 8, bylo docíleno nového účinku tím, že vlivem malé vzdálenosti od rotujícího taveného ingotu 8 dochází k místnímu tavení materiálu velkou intenzitou vysokofrekvenčního pole. Podle počtu těchto druhých částí 2 se vytvoří nejméně jeden odtokový kanálek 7, kopírující tvar druhé části 2 cívky a odvádějící taveninu do roztaveného pásma 6. Tento odtokový kanálek 7 se posouvá po natavené části ingotu 8 obvedovou rychlostí odpovídající rychlosti rotace 8. Rychlost natavování je nezávislá na rychlosti posuvu roztaveného pásma 6 a lze ji řídit s ohledem na plynulé odtavování.

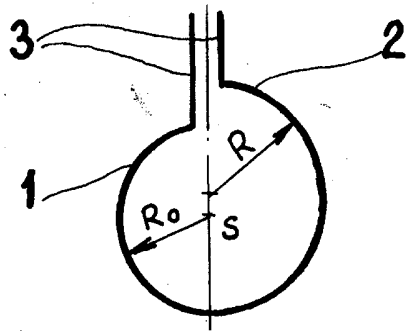
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení souose rotujícího ingotu vysoce čistého materiálu, zejména křemíku, jehož indukční soustava se skládá z hlavní ohřívací cívky a pomocné stabilizační cívky, připojené k témuž zdroji proudu, vyznačená tím, že hlavní ohřívací cívka má nejméně dvě tvarově odlišné části, navazující na sebe spojitě v jedné rovině kolmé na osu rotace ingotu, u nichž první část, (1) bližší k ose rotace ingotu (8) má tvar kruhového oblouku se středem v ose rotace ingotu (8) o poloměru menším, než je poloměr taveného ingotu (8), zatímco druhá část (2) má tvar oblouku křivky se spojitě a monotónně se zvětšující vzdáleností od osy rotace ingotu (8), s největší vzdáleností rovnou nejméně poloměru ingotu (8), přičemž na obě části (1, 2) hlavní ohřívací cívky, jsou radiálně připojeny přívody (3).

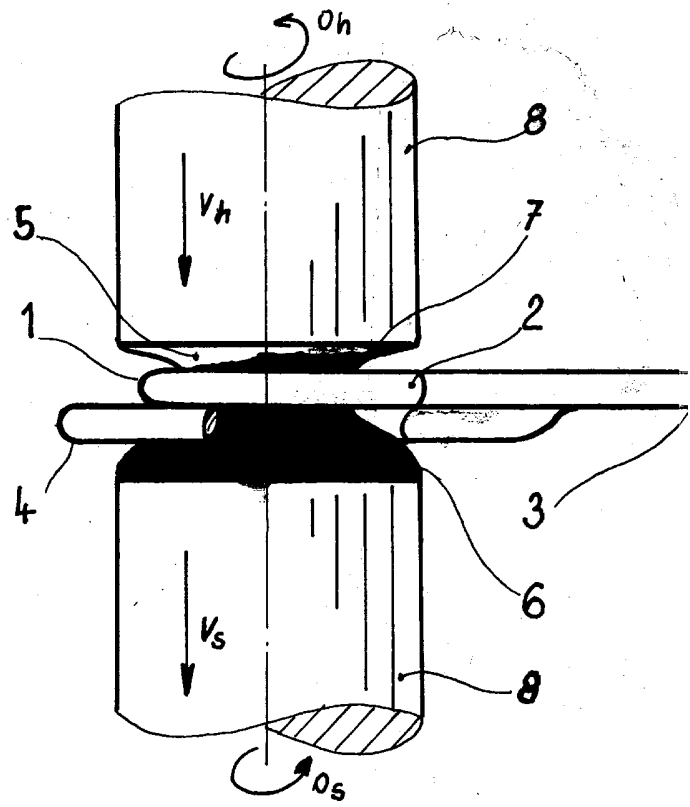
213 699

2. Zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení podle bodu 1, vyznačené tím, že hlavní ohřívací cívka má dvě části (1, 2), z nichž první část (1), bližší k ose rotace ingotu (8), má tvar půlkružnice se středem v ose rotace ingotu (8), zatímco druhá část (2) má tvar oblouku křivky funkce $R = a\sqrt{q}$ vymezeného úhlem π se středem otáčení rovněž v ose rotace ingotu (8).
3. Zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení podle bodu 1, vyznačené tím, že hlavní ohřívací ohřívací cívka má dvě části, z nichž první část (1) bližší k ose rotace ingotu (8) má tvar půlkružnice se středem v ose rotace ingotu (8), zatímco druhá část (2) má tvar půlkružnice o poloměru délky aritmetického průměru první části (1) a poloměru taveného ingotu (8), přičemž střed leží na přímce kolmo protínající osu rotace ingotu (8) a dělicí obě tvarově odlišné části (1, 2), hlavní ohřívací cívky.
4. Zařízení pro vysokofrekvenční letmé pásmové tavení podle bodu 1, vyznačené tím, že hlavní ohřívací cívka má tři části, z nichž první část (1) nejbližší k ose rotace ingotu (8) má tvar půlkružnice se středem v ose rotace ingotu, zatímco druhá a třetí část (2, 2') je ve tvaru půlelipsy s délkou vedlejší poloosy rovnou poloměru půlkružnice a s délkou hlavní poloosy rovnou poloměru taveného ingotu (8), přičemž je hlavní ohřívací cívka symetrická podle hlavní poloosy půlelipsy.

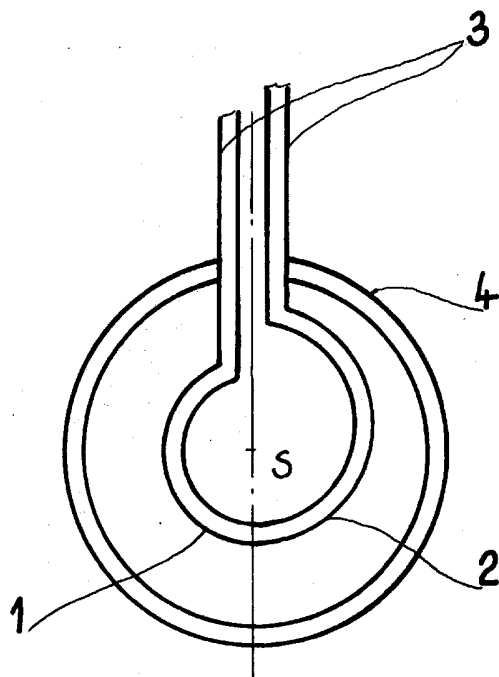
1 výkres



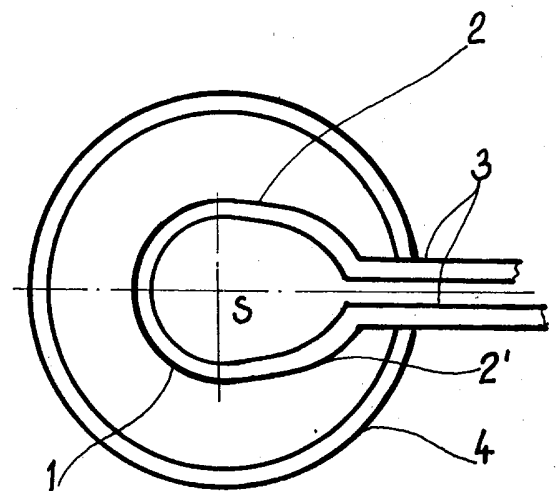
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4