

Termoforeza

Thermophoresis

T. Žlebnik¹, K. Vidmar, FOTONA Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1995-12-22

Termoforeza je pojav, pri katerem se hitrost suspendiranega delca v plinu s temperaturnim gradientom pospešuje v smeri upadanja temperature. Pri normalnih MCVD delovnih razmerah je izkoristek nanosa delcev samo funkcija ravnotežne temperature T_e . Izkoristek nanosa je $0,8(1-T_e/Tr)$. Te pa je funkcija hitrosti gorilnika, dolžine njegove poti, temperature okolice in debeline stene cevi.

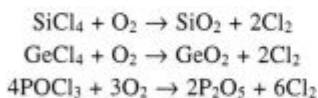
Ključne besede: optično vlakno, termoforeza

Thermophoresis describes the phenomenon in which a particle suspended in a gas with a temperature gradient will acquire a velocity in the direction of decreasing temperature. For normal MCVD operating conditions, the deposition efficiency is only a function of the equilibrium temperature, T_e . The deposition efficiency is $0,8(1-T_e/Tr)$. It's determined that T_e is a strong function of the torch velocity, the traverse length, the temperature of the ambient environment, and, the tube wall thickness.

Key words: optical fibre, thermophoresis

1 MCVD tehnologija

MCVD (Modified chemical vapour deposition) je eden izmed procesov, ki se uporablja za pridobivanje visoko kvaliteten optičnih vlaken. Metoda je bila razvita v Bell-ovih laboratorijih leta 1973. Osnova te tehnologije je cev iz čistega kremenovega stekla, v katero se dovaja mešanico plinskih kloridov (SiCl_4 , GeCl_4 , POCl_3), kisik in druge reagente. Ob cevi, ki rotira, se vodi plamenski gorilnik (kisik/vodik). Pri določeni temperaturi znotraj cevi stečejo reakcije:



Iz plinske mešanice se oblikujejo delci s sestavo: SiO_2 - GeO_2 , ki se odlagajo na notranjo stran cevi v predel pred gorilnikom. Ko pride gorilnik do usedle plasti, se ta stali, ko pa gre mimo, nastane po ohladitvi nekaj 10 mikrometrov debela plast stekla. Ob koncu cevi se gorilnik vrne na začetek slednje in postopek se ponavlja. Tako se nanese 50 - 100 plasti, odvisno od vrste optičnega vlakna. Po končanem nanosu sledi faza kolapsa - sesedanje steklene cevi s palico. To se izvede z zmanjšanjem plinskega pritiska znotraj cevi in z njenim segrevanjem do visokih temperatur. Cev se zmehta in površinska napetost jo povleče skupaj. Končni produkt je steklena palica-surovec, ki jo imenujemo preform. Stroški izdelave vlakna so močno odvisni od stopnje nanosa. Torej, če jih želimo zmanjšati, moramo dobro poznati mehanizem prenosa delcev na tisto mesto na steni cevi, ki je hladnejše - termoforezo. Preden pa termoforezo natančneje analiziramo, moramo poznati razmere v cevi.

2 Temperaturno polje

Cev vrtimo in segrevamo s plamenskim gorilnikom (kisik/vodik), ki se pomika vzdolž cevi s hitrostjo 10-30 cm/min. Ustvari se temperaturno polje, ki je odvisno od naslednjih dejavnikov:

- debeline stene cevi
- toplotne prevodnosti cevi
- sestave cevi
- količine in hitrosti plinov in sestavin, potrebnih za odvijanje procesa.

Mešanica plina vstopa v cev in po njej potuje s hitrostjo 50 cm/s v sredini cevi. Dolžina poti plina je odvisna od trenutne lokacije gorilnika. Plin potuje po cevi skozi različna temperaturna območja in se počasi segreva. Poenostavljeno vzamemo, da je gibanje plina laminarno zaradi nizke vrednosti Reynoldsovega števila, hitrostni profil pa vseskozi paraboličen (Slika 1).

$$V_x = V_{\max} (1-(r/R)^2) \quad V_{\max} = 2V_p = 2(Q/(rR))$$

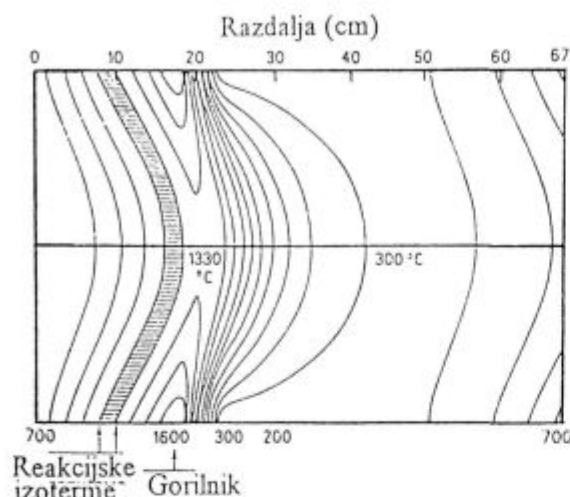
- Q - celotni prostorninski pretok vseh plinov
- V_p - povprečna hitrost gibanja plinov
- V_{\max} - maksimalna hitrost gibanja plinov
- V_x - porazdelitev hitrosti po osi X
- R - notranji polmer cevi
- r - polmer do poljubne točke v cevi

Mešanica plinov s paraboličnim profilom hitrosti potuje po cevi in, ko doseže območje gorilnika, pričnejo plini klorida pri temperaturah okoli 1200°C goreti.

3 Mehanizem gibanja in usedanja delcev

Vzrok gibanja delcev proti stenam cevi je termoforeza (Slika 2), ki je tudi ključni mehanizem MCVD procesa. Formirani delci se širijo po stekleni cevi v odvisnosti od temperaturnega polja - termoforetične sile. Termoforeza je fizikalni po-

¹ Mag. Tatjana ŽLEBNIK, dipl.inž.kem.
FOTONA d.d. PE Optične komunikacije
1210 Ljubljana, Stegne 7

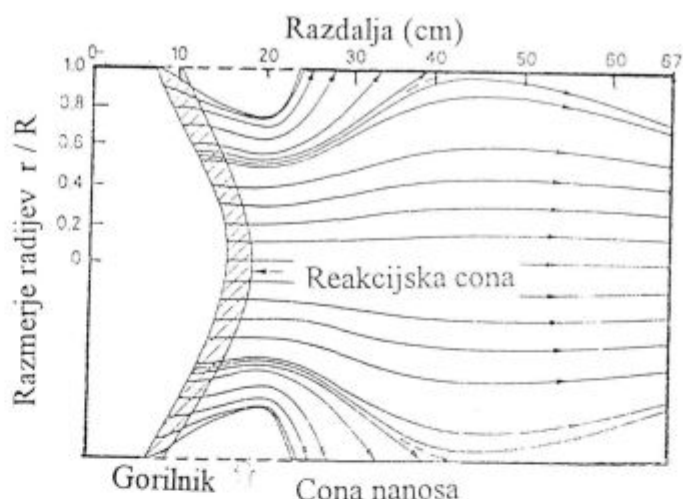


Slika 1: Prikaz hitrostnega profila gibanja plina skozi cev

jav, pri katerem je hitrost delcev pospešena v smeri negativnega temperaturnega gradienta. V delce se zaletavajo molekule plina s toplejše strani, ki imajo višjo gibalno količino kot molekule s hladnejše, zato so hitrosti delcev čada pospešujejo proč od gorilnika, to je od višje temperature proti nižji. Temperaturno polje je razporejeno tako, da je temperatura zaradi zunanega segrevanja najvišja ob stenah cevi. Temperatura delcev je nižja kot temperatura sten v predelu gorilnika oziroma v tki. vroči coni. Posledica je usedanje delcev mimo vroče cone v predelu, kjer se temperatura površine cevi izenači s temperaturo delcev. Delci, ki nastajajo blizu sten cevi, potujejo najprej proti sredini, kjer je temperatura nižja, nato pa se vsi skupaj gibljejo v smeri negativnega gradienta, ki doseže v območju za gorilnikom do 1200°C/cm. Delci, najbližji steni cevi, se na njo tudi usedejo, medtem ko delci, ki se formirajo v sredini 'odletijo' proti izhodu z drugimi nezreagiranimi delci. Koliko formiranih delcev se usede na steno, nam pove izkoristek, ki ga razlaga naslednja enačba:

$$E = 0,8(1 - T_e/T_{kr})$$

- E - učinkovitost nanosa materiala
- T_{kr} - kritična temperatura, pri kateri poteka reakcija
- T_e - temperatura izenačenja, pri kateri se temperatura delca izenači s temperaturo plina



Slika 2: Termoforeza je vzrok gibanja delcev proti stenam cevi, kar je obenem tudi ključni mehanizem MCVD procesa

Ekspirimentalni podatki povedo, da se na stene cevi usede 50-65% delcev SiO_2 , medtem ko je izkoristek usedanja delcev dopiranih materialov manjši. Temperatura izenačitve je odvisna od:

- debeline stene cevi
- temperature v notranjosti cevi
- grete površine in hitrosti pomikanja gorilnika
- premera cevi
- pretoka plinskih reagentov.

Nanos materiala na steno pa poteka le na določenem delu cevi in ga imenujemo nanosno področje.

Dolžina nanosnega področja:

$$L_n = Q/\dot{\alpha}$$

- L_n - dolžina nanosenega področja
- Q - celoten pretok plinov skozi cev
- $\dot{\alpha}$ - toplotna prevodnost mešanice plinov, ki priteka v cev.

Zgornja enačba je bistvena za kontrolo in optimizacijo procesa nanosa steklenih delcev.

4 Literatura

T. Li, *Optical Fibres Communications*, Academic Press Inc., New York, 1985