

Gradnja mikrostruktur z nanoprecizno robotsko celico

Suzana URAN

Izvleček: Prikazana sta razvoj in zgradba nanoprecizne robotske celice z natančnostjo vodenja vrha robota $\pm 3,9$ nm v odprti položajni zanki oziroma ± 61 nm v zaprti položajni zanki. Uporabljeni piezoelektrični motorji zagotavljajo prostornino delovnega območja robotske celice ok. $1,5 \text{ cm}^3$. Prikazana sta dva postopka prijemanja, premikanja in odlaganja mikroobjektov (steklene ali polistirenske kroglice premera $1\text{--}100 \text{ }\mu\text{m}$): enoprsto prijemalo, osnovano na van der Waalsovi sili, in enoprsto prijemalo, osnovano na kapilarni sili. Prikazani so primeri gradnje enostavnejših mikrostruktur (pokončni trikotnik, 3D-piramida) in bolj zapletena mikrostruktura zobnika premera $150 \text{ }\mu\text{m}$.

Ključne besede: nanoprecizni robot, gradnja mikrostruktur, prijemala za mikroobjekte

1 Uvod

Razvoj področja nano- in mikroizdelave zahteva bazične raziskave na štirih raziskovalnih področjih:

- raziskave postopkov samosestavljanja [1, 2],
- sestavljanje z nanomanipulacijo [3, 4], ki prenaša in sestavlja nano-/mikroobjekte, izdelane s postopki samosestavljanja v kompleksne strukture,
- množično vzporedno sestavljanje in
- razvoj računalniških orodij za nanomehansko načrtovanje.

Ta prispevek se dotika raziskovalnega področja »sestavljanje z nanomanipulacijo« in podrobneje obravnava praktično izgradnjo zanesljivega nanopreciznega 3D-robotskega mehanizma in njegovega podsistema prijemal za objekte v dimenzijskem območju $1\text{--}100 \text{ }\mu\text{m}$, s katerimi bi lahko opravljali gradnjo 3D-mikrostruktur za mikrostroje, MEMS-e (mikroelektromehanske sisteme), mikrozobnike, mikroreduktorje itd. Predstavljena dva različna postopka prijemanja premikanja in odlaganja objektov (eno-

prsto prijemalo, osnovano na van der Waalsovi sili, in enoprsto prijemalo, osnovano na kapilarni sili) sta alternativni drugim postopkom, npr. optičnim pincetam [5], ki so namenjene premikanju nanoobjektov z dielektričnimi snovnimi lastnostmi v tekočinskem mediju. Razvita in aplikativno prikazana postopka prenašanja objektov s pomočjo enoprstih prijemal, osnovanih na van der Waalsovi ali kapilarni sili, sta primerna za objekte velikosti $1\text{--}100 \text{ }\mu\text{m}$ v zraku pri pritisku 1 bar ali vakuumu vse do tlaka $0,1 \text{ mbar}$.

Prenašanje (prijemanje, premikanje, odlaganje) objektov, večjih od $100 \text{ }\mu\text{m}$, ni strokovno zahtevno. Dejansko lahko v teh primerih posnemamo mehanska dvoprsta ali troprsta prijemala iz makrosveta, seveda v skrajno pomanjšani obliki, za motorje pa se uporabljajo piezoelektrični pogoni namesto električnih motorjev. V teh primerih so mikroobjekti še dovolj težki, da se zaradi gravitacijske sile pri odlaganju odtrgajo od prijemala in jih lahko namestimo na odlagalno površino. V splošnem prijemanje in premikanje mikroobjektov ni problematično. Povsem drugačna pa je zgodba, ko imamo opravka z odlaganjem objektov, manjših od $100 \text{ }\mu\text{m}$. V tem primeru zaradi kapilarne sile, ki je posledica kondenzacije vlage iz zraka, van der Waalsove sile, vedno prisotne šibke medmolekularne privlačne sile ali parazitne elektrostatične sile, od-

laganje mikroobjektov na odlagalno površino ni mogoče. Velikost privlačne kapilarne ali van der Waalsove sile med objektom in prijemalom preseže gravitacijsko silo objekta, kadar so objekti manjši od ok. $100 \text{ }\mu\text{m}$, ali po iznosu preseže gravitacijsko silo za nekaj 100-krat, kadar imamo opravka z objekti velikosti okoli $1\text{--}100 \text{ }\mu\text{m}$.

Našteti problemi pri odlaganju so v zadnjem desetletju vodili do razvoja množice postopkov odlaganja objektov (nanospajkanje, nanovarjenje, dielektroforeza, lepljenje objekta na površino, sintranje ...) [4, 5, 6, 7]. Vse te metode delujejo za posamezne materiale ali oblike objektov in še vedno potrebujejo gravitacijsko silo za odlaganje objektov. Posebne rešitve predstavljajo enoprsta ledna prijemala, ki delujejo na principu mehanske sklopljenosti med ledom, ki primrzne in zaobjame mikroobjekt v vodnem mediju [8] ali v zraku [9]. Njihov glavni problem je nezanesljivo in natančno odlaganje, kar velja tudi za postopke odlaganja z inercijsko silo (vibracijo konice enoprstega prijemala) ali pnevmatsko silo [10, 11, 12].

V članku predstavljena postopka enoprstih prijemal sta izjemno primerna za objekte dimenzij $1\text{--}100 \text{ }\mu\text{m}$ in sta neobčutiljiva na obliko in material objekta. Vse aplikacije gradnje 2D- in 3D-objektov, predstavljene v tem članku, so bile opravljene s tema dve-

Doc. dr. Suzana Uran, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko