

Merjenje Van der Waalove vršne razdalje med mikro objekti

Jakob Šafarič – IEEE članska številka: 93958068

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

E-pošta: jakob.safa@gmail.com

Measurement of Van der Waals peak distance between micro objects

Abstract. In this paper, a method for measurement of Van der Waals peak distance is presented. The method uses Van der Waals force in contact between two objects of known geometry and material to calculate the peak distance. The method can be used to calculate Van der Waals peak distance between spheres, cylinders, plain and cylinder or sphere and cylinder.

1 Uvod

Van der Waalova sila v kontaktu med dvema mikro objektoma je odvisna od treh parametrov, geometrije objektov, materialov obeh objektov in razdalje med objektoma, ko sta le ta v kontaktu.

S pomočjo meritve Van der Waalove sile je možno določiti geometrijske parametre delcev (kot so velikost, premer v primeru krogel in valjev itd.), vendar pa moramo za to natančno poznati velikost Van der Waalove vršne razdalje med objektom katerega geometrijske značilnost želimo določiti in merilnim objektom.

Trenutno obstajajo tri metode za določanje Van der Waalove vršne razdalje. Prva metoda je tako imenovana kristalografska metoda, prvič predstavljena v [1] in kasneje uporabljena v [2] za določitev Van der Waalovih vršnih razdalj med večino elementov v periodnem sistemu in kisikovo sondo. Metoda deluje tako, da se objekta postavita v kontakt, nato pa se stik med njima slika z X-žarki. Iz slik se s statistično metodo določi razdalja med atomi obeh objektov.

Druga metoda je tako imenovana analitična metoda, prvič predstavljena v [3], kjer se nanohrapavost površine obeh objektov posname z AFM mikroskopom, nato pa se na podlagi nanohrapavosti izračuna Van der Waalova vršna razdalja.

Tretja metoda je tako imenovana računsko metoda [4], kjer se Van der Waalova vršna razdalja izračuna matematično. Ta metoda da najbolj natančne rezultate, vendar pa je računsko zelo zahtevna, zato se redko uporablja.

V tem članku je predstavljena nova metoda, ki omogoča merjenje Van der Waalovih vršnih razdalj brez uporabe drage laboratorijske opreme ali kompleksnih računskih operacij. Metoda deluje tako, da se izmeri Van der Waalova sila v kontaktu med dvema objektoma z znano geometrijo in iz znanega materiala, nato pa se na podlagi sile izračuna Van der Waalova vršna razdalja.

2 Laboratorijska oprema

Za izvedbo meritev smo uporabili nanoprecizno robotsko celico, ki smo jo razvili v laboratoriju [5].

2.1 Opis naprave

Nanoprecizna robotska celica je sestavljena iz vakuumske komore v kateri se nahaja nanoprecizni manipulator, optičnega mikroskopa, dvostopenjske oljne in turbomolekularne vakuumske črpalke. S pomočjo mikroskopa lahko preko kamere skozi okno v komori opazujemo objekte velikosti cca. 2 μm ali večje v delovnem območju nanopreciznega manipulatorja

Nanoprecizen manipulator je sposoben opravljati gibanje v treh oseh, pri čimer se lahko glava manipulatorja giblje v x in y smeri, mizica manipulatorja pa v z smeri. Gibanje je izvedeno s pomočjo piezoelektričnih motorjev, ki so se sposobni premikati v korakih po 3,9 nm, meritev položaja pa s pomočjo magnetnih letev, s katerimi je možno izmeriti položaj na 61 nm natančno.

Vakuumske črpalke so uporabljene zato, da se iz komore odstrani ves prah, ki bi lahko motil meritve, hkrati pa se odstrani vsa vlaga, ki bi drugače lahko kondenzirala na objektih in spremenila meritve, saj bi se pojavila tudi kapilarna sila.

Program za regulator in uporabniški vmesnik je napisan v LabView-u in se izvaja na računalniku z operacijskim sistemom LabView Real Time.

2.2 Izvedba meritve Van der Waalove sile

Meritve Van der Waalove sile je izvedena tako, da se eden od objektov med katerima želimo meriti silo prilepi na traverzo (traverza se lahko tudi uporabi kot valjast objekt), drugi objekt pa se pritrdi na mizico robota. Traverza se pritrdi na glavo robota. Oba objekta postavimo v kontakt, nato pa objekt, ki je pritrjen na mizico robota začnemo spuščati. Zaradi tega se začne traverza upogibati, dokler sila zaradi upogiba traverze ne postane tako velika, da preseže Van der Waalovo silo med objektoma. V tem trenutku se objekta ločita in se spuščanje mizice takoj ustavi. Na podlagi začetnega in končnega položaja mizice se izračuna upogib traverze pri katerem sta se objekta ločila. Nato po enačbi (1) izračunamo Van der Waalovo silo med objektoma.

$$F = \frac{3fE\pi d^4}{l_i^3 64} \quad (1)$$

V enačbi f predstavlja upogib traverze, E predstavlja modul elastičnosti traverze, d je premer traverze in l_i je dolžila traverze. F je izračunan Van der Waalova sila med objektoma. Merilna metoda meri Van der

Waalsovo silo v nN in μN merilnem področju z natančnostjo $\pm 5\%$.

3 Eksperiment

3.1 Objekti med katerimi smo merili Van der Waalsove vršne razdalje

Van der Waalsove vršne razdalje smo merili med 5 različnimi kovinami polistirenom in steklom. Kovine, ki smo jih uporabili so bile: zlato, srebro, aluminij, nikelj in paladij. Vse kovine smo imeli na voljo v obliki okrogle žice premera $50\ \mu\text{m}$. Za meritve s steklom smo uporabili steklene kroglice s premerom med $40 - 100\ \mu\text{m}$. Za meritve z polistirenom smo uporabili kroglice s premerom okoli $32\ \mu\text{m}$. Premere vseh kroglic, ki smo jih uporabili v eksperimentu smo določili z mikroskopom.

3.2 Izvedba eksperimenta

Izmerili smo Van der Waalsove vršne razdalje med vsemi možnimi materiali, ki smo jih imeli na voljo. Pri vsakem paru materialov smo izvedli 20 meritev Van der Waalsove sile med objektoma. Nato smo izračunali povprečje vseh 20 meritev in izločili tiste 4, ki so najbolj odstopale od povprečja. Iz ostalih 16 meritev smo ponovno izračunali povprečje in dobljeno povprečje uporabili kot izmerjeno Van der Waalsovo silo med objektoma.

Iz dobljene Van der Waalsove sile smo nato izračunali Van der Waalsovo vršno razdaljo d po ustrezni formuli. Za kontakt med dvema kroglama se uporabi enačba (2) [9], kjer je R_1 premer prve krogle, R_2 premer druge krogle, A Hamakerjeva konstanta in F izmerjena sila med kroglama.

$$d = \sqrt{\frac{AR_1R_2}{6F(R_1 + R_2)}} \quad (2)$$

Za kontakt med dvema pravokotnima valjema z enakim premerom pa se uporabi enačba (3) [9], kjer je R premer valjev, A Hamakerjeva konstanta in F izmerjena sila.

$$d = \sqrt{\frac{AR}{6F}} \quad (3)$$

V primeru kontakta med kroglo in valjem je situacija dosti bolj zapletena, saj ne obstaja analitična formula za izračun Van der Waalsove sile v kontaktu. V [6] je podana formula za izračun Van der Waalsove sile v kontaktu med kroglo in valjem, ki pa vsebuje eliptične integrale, ki jih je potrebno numerično izračunati za vsak set podatkov. Ker zaradi eliptičnih integralov ni mogoče iz formule izraziti razdalje med valjem in kroglo, smo za izračun razdalje d uporabili nevronska mreža.

3.3 Rezultati

V tabeli 1 so predstavljene vse izmerjene Van der Waalsove vršne razdalje. Vrednosti vršnih razdalj so podane v Å ($10^{-10}\ \text{m}$). V tabeli oznaka PS pomeni polistiren, ostali materiali so označeni s kemijskimi simboli ali formulami.

Tabela 1: Izmerjene vrednosti Van der Waalsovih vršnih razdalj

	Ag	Al	Au	Ni	Pd	PS	SiO ₂
Ag	6,25	5,52	6,30	5,36	6,84	4,34	4,81
Al		4,62	5,48	4,63	6,01	3,43	4,30
Au			6,02	5,24	6,79	4,25	4,30
Ni				4,81	6,24	4,19	4,19
Pd					7,32	4,80	5,33
PS						2,42	2,98
SiO ₂							3,75

3.4 Analiza rezultatov

Dobljene rezultate Van der Waalsovih vršnih razdalj med steklom in ostalimi elementi smo primerjali z vrednostmi, ki so podane v [2]. Ugotovili smo, da smo pri večini elementov dobili malo večje vrednosti, za Van der Waalsovo vršno razdaljo, glavni razlog za to je, da se pri naši metodi upoštevajo tudi različne nano nepravilnosti na površini objektov, ki se ne zajamejo pri kristalografski metodi, imajo pa vpliv na velikost Van der Waalsove sile v realnem sistemu.

Edina naša meritev, ki je bila nižja od podane vrednosti v [2] je meritev vršne razdalje med srebrom in steklom. Pri tej kombinaciji materialov je verjetno napaka v viru [2], saj ostali viri ([7], [8]) pri tej kombinaciji prav tako navajajo nižje vrednosti, čeprav se druge strinjajo z [2].

4 Zaključek

Z našo metodo smo uspešno izmerili Van der Waalsovo vršno razdaljo med različnimi materiali in rezultate potrdili z vrednostnimi, ki so jih drugi avtorji pridobili z drugimi metodami. Glavna prednost naše metode je, da jo je dosti bolj preprosto uporabiti kot do sedaj razvite metode ([1], [3], [4]), saj ne zahteva drage laboratorijske opreme ali izvedbe kompleksnih računov.

Literatura

- [1] R. S. Rowland, R. Taylor, J. Phys. Chem. (1996). doi:10.1021/jp953141+
- [2] Alvarez S.: A cartography of the van der Waals territories, Dalton Trans., 42, 8617–8636, 2013.
- [3] H. Rumpf: Particle Technology, Chapman & Hall, London/New York, 1990.
- [4] S. Eichenlaub, A. Gelb and S. Beaudoin, J Colloid Interface Sci. (2004) doi:10.1016/j.jcis.2004.08.017
- [5] R. Šafarič, D. Lukman: One-finger gripper based on the variable van der Waals force used for a single nano/micro-sized object, Journal of micromechanics and microengineering, Vol. 24, 1-13, 2014.
- [6] V. A., Kirsch, Adv Colloid Interface Sci. (2003) doi:10.1016/S0001-8686Ž03.00053- 8
- [7] A., Bondi, J. Phys. Chem. (1966) doi:10.1021/j100881a503
- [8] S. S. Batsanov, Inorganic Materials (2001) doi:10.1023/A:1011625728803
- [9] A. Parsegian, Van der Waals forces (Cambridge University press, 2006).