

نسبت به محیط هوا ندارد. اما به دلیل تأخیر اندک ایجاد شده در زمان حرکت و کاهش شیب تغییرات نیرو می‌توان گفت که منیپولیشن در محیط مایع دارای مزایایی نسبت به محیط هوا است.

البته در این تحقیق با فرض نانوذره‌ای از جنس طلا و نیز عدم وجود نمک و ذرات یون در محیط مایع، از سایر اثرات بین مولکولی در برهم‌کنش صرف نظر شده است. اما نتایج تجربی موجود اثبات می‌کنند که تأثیر کاهش نوسانات در محیط مایع را می‌توان به عنوان مزیت منیپولیشن در این محیط برشمرد (۸).

در تحقیقات آینده می‌توان منیپولیشن ذرات نرم و بیولوژیکی با اشکال متفاوت جنس‌های مختلف را در محیط واقعی با بررسی تأثیرات شرایط محیط سیال به لحاظ وجود نمک‌ها و میزان یونیزاسیون آن‌ها درون مایع که موجب تغییر نیروهای بین مولکولی موجود در محیط مایع می‌شود، بررسی نمود. همچنین با توجه به وابستگی نیروی درگ سیال به بعضی پارامترهای سیال نظیر ویسکوزیته و دانسیته، بررسی تغییرات این پارامترها نیز از اهمیت برخوردار هستند. در پایان لازم به یادآوری است که پیشرفت منیپولیشن در ابعاد نانو در محیط سیال تأثیر شگرفی در پیشبرد اهداف علوم زیستی و پزشکی نظیر روش‌های مبارزه با سرطان، ره‌ایش دارو، تولید نانوربات‌های درمان‌گر و بسیاری دیگر از محصولات مفید در این زمینه خواهد داشت که لزوم شناخت بیشتر محیط و خواص آن را نشان می‌دهد.

زمان لازم برای شروع حرکت ذره به میزان ۳ تا ۷ درصد نسبت به هوا تأخیر داشت که مشابه با نتایج موجود است (۴). علت این پدیده وجود نیروهای مقاوم در برابر حرکت کانتیلور یعنی نیروی درگ و کشش سطحی سیال می‌باشد. با مقایسه‌ی مقادیر نیروهای مقاوم در مقایسه با نیروهای فشاری وارده از پروب بر ذره، تغییرات اندک مقادیر نسبت به حالت هوا قابل توجیه است. این نتیجه در تحقیقات تجربی نیز گزارش شده است (۶).

به علاوه در مقایسه‌ی تأثیر دو نیروی کشش سطحی و نیروی درگ بر منیپولیشن، مشاهده شد که تأثیر کشش سطحی بیشتر از نیروی درگ بود. علت این پدیده این است که میزان نیروی درگ با توجه به رینولدز بسیار کم و سرعت پایین کانتیلور چندین مرتبه از میزان نیروی کشش سطحی کمتر بود. همچنین هنگامی که بدنه‌ی کانتیلور به طور کامل خارج از مایع قرار داشت (۲۲۰ میکرون)، تمرکز کشش سطحی بر ابتدای پروب با بازوی گشتاور ماکزیمم بوجود آمد که موجب تغییر شکل بیشتری شد. در مقابل، هنگامی که کل کانتیلور داخل مایع قرار گرفت، اثر کشش سطحی با بازوی گشتاور صفر از بین رفت و فقط نیروی درگ بر منیپولیشن تأثیر داشت که با توجه به نیروی کم آن، تغییرات به وجود آمده ناچیز بود. با توجه به موارد مذکور می‌توان گفت که همان‌طور که در تحقیق Resch اشاره شد (۴)، نتایج درون آب تغییر چندانی

References

1. Sitti M, Hashimoto H. Force controlled pushing of nanoparticles: modeling and experiments. Proceedings of IEEE/ASME International Conference. 1999.
2. Tafazzoli A, Sitti M. Dynamic Behavior and Simulation of Nanoparticle Sliding During Nanoprobe-Based Positioning. Proceedings of International Mechanical Engineering Congress and Exposition. 2004 November 13 – 19; Anaheim, California; 2004. p. 965-72.
3. Habibnejad_Korayem M, Zakeri M. Sensitivity analysis of nanoparticles pushing critical conditions in 2-D controlled nanomanipulation based on AFM. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2009; 41(7-8): 714-26.

4. Resch R, Lewis D, Meltzer S, Montoya N, Koel BE, Madhukar A, et al. Manipulation of gold nanoparticles in liquid environments using scanning force microscopy. *Ultramicroscopy* 2000; 82(1-4): 135-9.
5. Frank BP. Intermolecular Forces of Marine Adhesive Molecules. [PhD Thesis]. New York, NY: Rensselaer Polytechnic Institute; 2001.
6. Jones RE, Hart DP. Force interactions between substrates and SPM cantilevers immersed in fluids. *Tribology International* 2005; 38(3): 355-61.
7. Gauthier M, Regnier S, Rougeot P, Chaillet N. Forces analysis for micromanipulations in dry and liquid media. *Journal of Micromechatronics* 2006; 3(3-4): 389-413.
8. Gauthier M, Nourine M. Capillary Force Disturbances on a Partially Submerged Cylindrical Micromanipulator. *IEEE Transactions on Robotics* 2007; 23(3): 600-4.
9. Israelachvili JN. Intermolecular and surface forces. 2nd ed. New York, NY: Academic Press; 2007.

Dynamic Modeling of 2D Nano-Manipulation based on Atomic Force Microscopy in Liquid Medium and Studying the Hydrodynamic and Geometric Parameters of the Model

Moharram Habibnejad Korayem PhD¹, Maneezheh Zakeri PhD², Ali Motaghi MSc²

Abstract

Background: Dynamic behaviors of probe tip and nanoparticles have been investigated by modeling the manipulation of nanoparticles in the air using atomic force microscopy (AFM) as a nano manipulator. This study evaluated the manipulation of submerged nanoparticles in liquid environment.

Methods: The artificial nanoparticle manipulation was analyzed by theoretical analysis of forces in liquids and dynamics of spherical nanoparticle pushing. Hydrodynamic drag force and surface tension of the liquid were then calculated and used in the new dynamic modeling. The problem was simulated for a gold nanoparticle on a silicon substrate in water.

Findings: The results showed that the required manipulation force and time for nanoparticle sliding and rolling increased by respectively 7% and 3% in water as compared to the air. Moreover, for various submerged lengths of the cantilever in water, the critical values related to sliding and rolling were delayed for 9% and 10.5%, respectively.

Conclusion: The required critical force and time for the manipulation in water showed a little increase over the existing values for air.

Keywords: Nano-manipulation, Atomic force microscopy, Liquid medium

¹ Professor, Center of Excellence in Experimental Solid Mechanics and Dynamics, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

² Department of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Corresponding Author: Moharram Habibnejad Korayem PhD, Email: hkorayem@iust.ac.ir