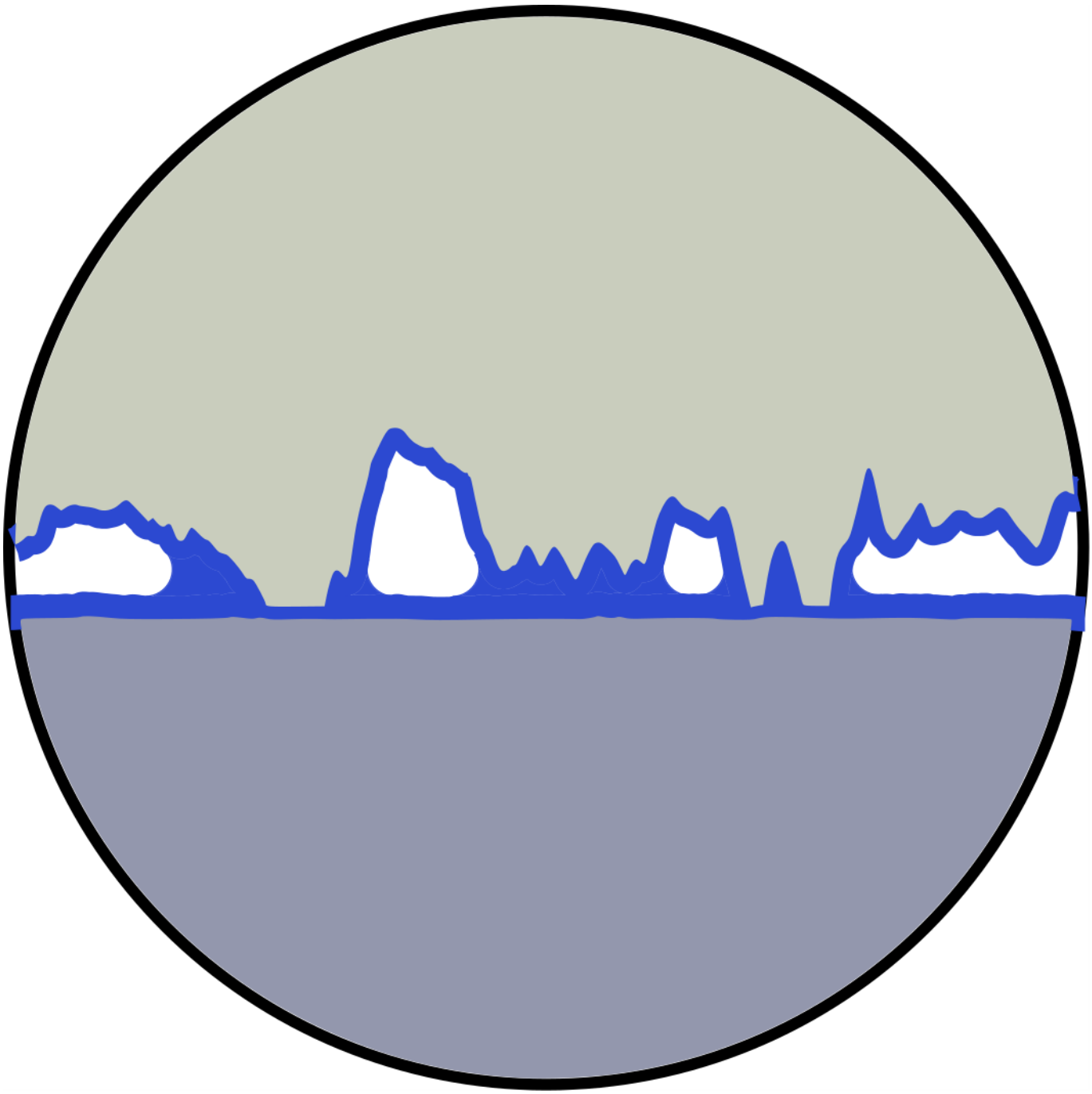
Ruwer is gladder

De hoeveelheid wrijving tussen oppervlakken hangt normaal gesproken af van hun ruwheid, maar op de nanoschaal ervaren ‘ruwe’ oppervlakken juist *minder* wrijving dan gladdere oppervlakken. Met behulp van een unieke experimentele opstelling lukte het onderzoekers om oppervlakteruwheid met nanoschaal-precisie af te beelden, en om deze metingen te relateren aan wrijvingsexperimenten die dit tegenintuïtieve feit – een gevolg van capillaire werking – bevestigen.



Afbeelding. Contact tussen twee oppervlakken. Een ruw oppervlak (lichtgrijs) dat op een heel glad oppervlak (donkergrijs) wordt gedrukt, met maar een paar punten van echt contact. Door de luchtvochtigheid zijn beide oppervlakken bedekt met een dun laagje water (blauw). In de gebieden waar de oppervlakken elkaar bijna raken is de ruwheidsschaal van dezelfde orde van grootte als de dikte van de waterlaag, en doet capillaire adhesie de wrijving tussen de oppervlakken toenemen.

De resultaten leiden tot een voorspellend begrip van contactmechanismen en wrijving, van belang voor toepassingen zoals nauwkeurige positionering in de lithografie-industrie. De

bevindingen werden vorige maand in het wetenschappelijke tijdschrift Physical Review Research gepubliceerd.

“Oppervlakken die op macroscopische schaal heel glad zijn, hebben nog steeds een bepaalde ruwheid, in de vorm van nanometers grote pieken en dalen”, zegt Bart Weber, wiens onderzoeksgroep – *Contact Dynamics* – zich richt op fundamentele aspecten van wrijving en slijtage, met toepassingen in de nanolithografie. “Bij het produceren van chips worden plaatjes halfgeleidermateriaal diverse malen de litografiemachine in- en uitgeschoven, waarbij ze elke keer met nanometer-precisie gepositioneerd moeten worden. De kleinste vervorming van het plaatje ten gevolge van wrijving kan al leiden tot fouten in de positie. Daarnaast kan slijtage de wrijving in de loop van de tijd veranderen, aangezien een lithografiemachine miljoenen van dit soort plaatjes per jaar verwerkt.”

Contactoppervlak

Hoeveel wrijving er is tussen twee oppervlakken die elkaar raken, hangt af van allerlei randvoorwaarden in zowel de omgeving – zoals temperatuur of vochtigheidsgraad – als in de oppervlakken zelf – zoals de chemische samenstelling of lading. Weber en zijn team zijn met name geïnteresseerd in de ruwheid van het oppervlak, die bepaalt waar en in welke mate de oppervlakken elkaar echt raken.

“Het contactoppervlak tussen twee oppervlakken is per definitie niet zichtbaar, wat het ook moeilijk maakt om experimenteel te onderzoeken. In samenwerking met onze collega’s aan de UvA en aan de Université Paris-Saclay, hebben we een unieke opstelling ontwikkeld die het mogelijk maakt om het contactoppervlak met behulp van fluorescentie-microscopie toch in beeld te brengen”, legt hij uit. “We bevochtigen bolletjes van silicium-nitride met variërende oppervlakteruwheid met een fluorescente vloeistof, en drukken ze vervolgens tegen een heel vlakke doorzichtige plaat zodat we erdoorheen de fluorescente moleculen in de vloeistof tussen de oppervlakken kunnen aanslaan en zien. Waar de oppervlakken elkaar raken is dan geen fluorescentie. Zoals verwacht leidt een gladder oppervlak tot een grotere oppervlakte waar daadwerkelijk contact is.

Gladder is plakkeriger

Webers promovendus Feng-Chun Hsia combineerde deze contactoppervlak-experimenten

met wrijvingsmetingen aan dezelfde bolletjes met behulp van een rheometer, die wrijving meet door torsie toe te passen op de rakende oppervlakken Hij ontdekte dat de oppervlakteruwheid en de oppervlakte van echt contact in het algemeen nauwelijks de wrijving beïnvloeden die de rakende oppervlakken ervaren. De wrijvingscoëfficiënt (de verhouding tussen de wrijvingskracht en de normaalkracht die de oppervlakken samenduwt) blijft grofweg even groot. Wanneer de ruwheid echter teruggebracht wordt tot slechts enkele nanometers neemt de wrijvingscoëfficiënt significant toe.

“Als gevolg van de luchtvochtigheid zijn de oppervlakken bedekt met dunne waterlaagjes van een paar nanometer dik. Heel gladde oppervlakken hebben een groot gebied waar ze elkaar bijna raken. Als de ruimte ertussen even groot is als het laagje water, hebben de watermoleculen de neiging om de twee oppervlakken samen te trekken. Dit is hetzelfde als het capillaire effect van een druppel water die twee glasplaten in een conventionele microscoop samenzuigt”, legt Weber uit. “Die capillaire adhesie zorgt ervoor dat gladde oppervlakken samenplakken en meer wrijving ervaren.”

Wrijving voorspellen

Capillaire adhesie was al voorspeld voor rakende oppervlakten met een ruwheid op de nanoschaal, maar Weber en zijn team waren de eersten die het effect ook experimenteel vastlegden. “Omdat onze contactoppervlak-experimenten ook overeenkwamen met theoretische modellen van het contactoppervlak, hebben we nu een voorspellend begrip van het samenspel tussen contactmechanica, wrijving en capillaire adhesie”, zegt hij. “We hebben bovendien inzicht gekregen in hoe wrijving verandert als de oppervlakteruwheid slijt. Beide resultaten zijn van belang voor toepassingen in de precisie-positionering.”

Publicatie

Rougher is more slippery: How adhesive friction decreases with increasing surface roughness due to the suppression of capillary adhesion, Feng-Chun Hsia, Steve Franklin, Pierre Audebert, Albert M. Brouwer, Daniel Bonn en Bart Weber, Phys. Rev. Research 3, 043204.