

Dlaczego liść lotosu jest zawsze czysty a gekon nie spada z drzewa - jak przyroda inspirowuje chemików



Prof. dr hab. Grzegorz Celichowski

AKADEMIA CIEKAWEJ CHEMII (ACCh), Wydział Chemii, Uniwersytet Łódzki, Luty 2024



Dlaczego lotos jest świętą rośliną ?

Jest piękny

Lotos orzechodajny, nurzykłąb orzechodajny (*Nelumbo nucifera*)





Dlaczego lotos jest świętą rośliną ?

Jest czysty





Dlaczego lotos jest świętą rośliną ?



**Jest
Pożywny**

**ma
jadalne
korzenie**





Dlaczego lotos jest świętą rośliną ?

i
nasiona





Dlaczego lotos jest świętą rośliną ?

Leczy

Jest składnikiem wielu leków tradycyjnej medycyny dalekowschodniej

- ajurwedyjskiej
- chińskiej
- tajskiej



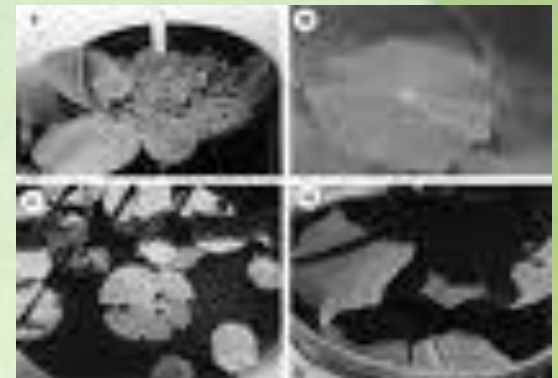
Wykorzystuje się jej właściwości przeciwbakteryjne, ściągające, przeciwgorączkowe i przeciw pasożytnicze. Kwiat i ekstrakt z lotosu ma właściwości relaksujące.



Dlaczego lotos jest świętą rośliną ?

Posiada nadzwyczajną żywotność

Nasiona lotosu znalezione w Xipaozi, leżącej w chińskiej prowincji Liaoning miały wykiełkowały po 1300 latach co jest według Seed Science Research światowym rekordem



Seed Science Research (2002), 12: 131-143
Copyright © Cambridge University Press 2002



Jak lotos inspirowuje naukowców?

Poszukiwanie przyczyn nadzwyczajnej żywotności nasion

Stwierdzono, że swoją żywotność nasiona lotosu zawdzięczają:

- Twardej skorupie zawierającej naturalne środki przeciwgrzybowe czyli naturalne fungicydy
- Obecności enzymów „naprawiających” struktury biologiczne obecne w nasionach

Pracuje się nad bioinspirowanymi lotosem rozwiązaniami:

- W przemyśle opakowań do długoterminowego przechowywania żywności i leków
- Nad ochroną przeciwgrzybową
- Nad poznaniem mechanizmów działania enzymów przeciwstarzeniowych, również w stosunku do organizmu człowieka



Dlatego jest symbolem obecnym w wielu kulturach i religiach na całym świecie

Inspiruje rozwój duchowy



Symbolizuje:

- Czystość
- Duchowość
- Odrodzenie



Dlatego jest symbolem obecnym w wielu kulturach i religiach na całym świecie

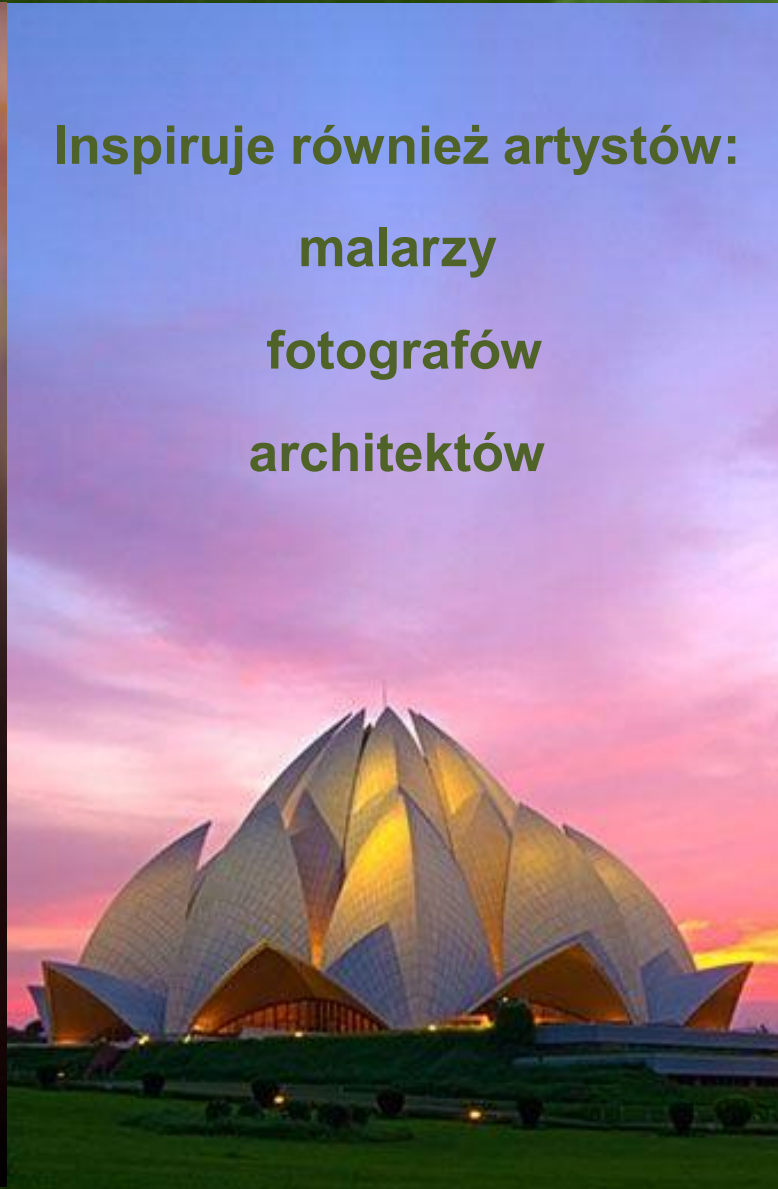


Inspiruje również artystów:

malarzy

fotografów

architektów





Jak lotos inspirowuje naukowców?

Poszukiwanie przyczyn nadmierzającej czystości całej rośliny

O nadzwyczajnej czystości lotosa pisano już ponad 2000 lat temu w staroindyjskich pismach Wedyjskich - Bhagavad Gita

Prace nad naukowym wyjaśnieniem „czystości lotosu” stały się możliwe po wprowadzeniu skaningowego mikroskopu elektronowego – pierwsze publikacje pochodzą z 1977 r.

Dogłębną analizę tego zjawiska przeprowadził Prof. Wilhelm Barthlott i Christoph Neinhuis publikując swoje prace w 1997 r.

Ale już w 1994 r. Prof. Wilhelm Barthlott wprowadza i patentuje termin Lotus-Effekt®



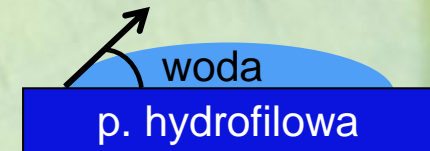


Co to jest hydrofobowość?

Oddziaływania na granicy faz ciecz - ciało stałe Kąt zwilżania

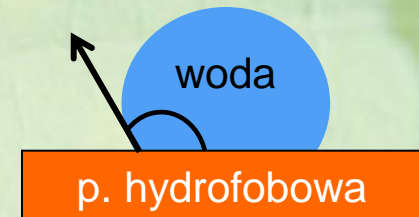
Powierzchnia hydrofilowa

- polarna, obecne grupy polarne lub jony
- posiada wysoką swobodną energię powierzchniową
- Kropla wody rozplywa się
- Kąt zwilżania $< 90^\circ$



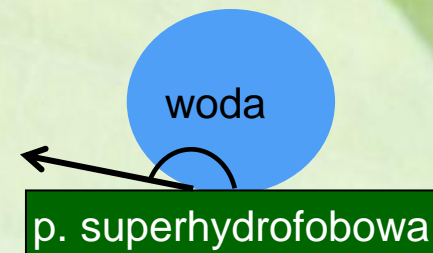
Powierzchnia hydrofobowa

- niepolarna
- posiada niską swobodną energię powierzchniową
- krople zaczynają przyjmować kształty kuliste
- kąt zwilżania $> 90^\circ$



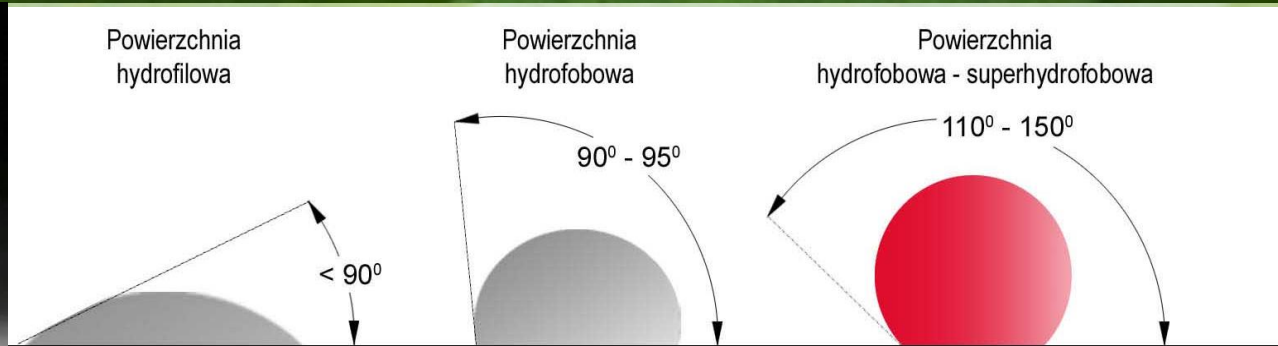
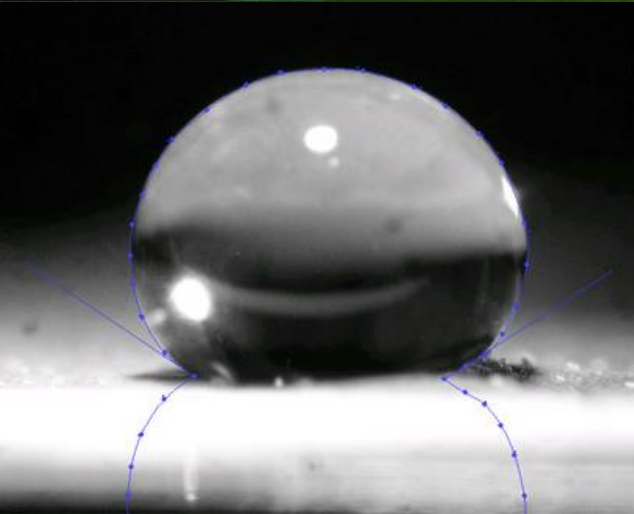
Powierzchnia superhydrofobowa

- niepolarna i hierarchicznie rozwinięta
- posiada niską swobodną energię powierzchniową
- krople zaczynają przyjmować kształt kulisty
- kąt zwilżania $> 150^\circ$
- kąt ślizgania $< 10^\circ$





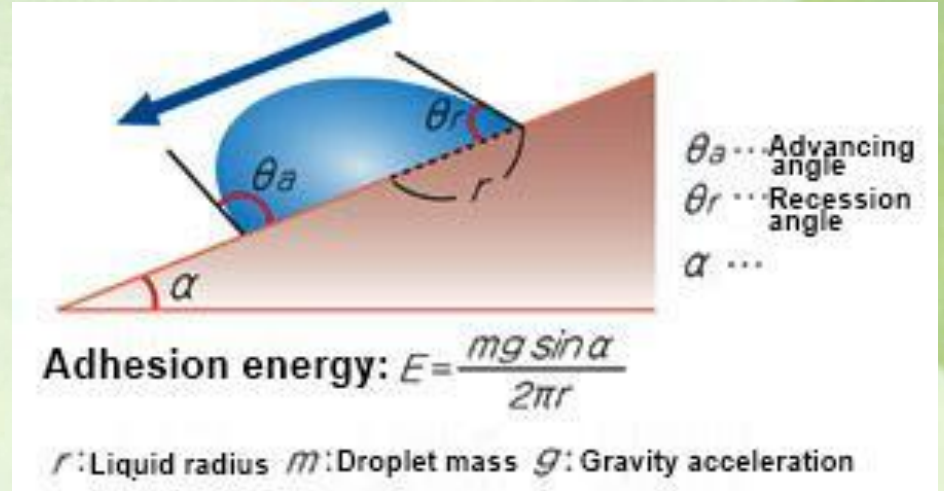
Jak mierzymy hydrofobowość powierzchni?



Kąt zwilżania

Kąt ślizgania

Kąt α dla którego kropla zaczyna się poruszać





Hydrofilowy czy hydrofobowy?



**Powierzchnia
hydrofilowa**



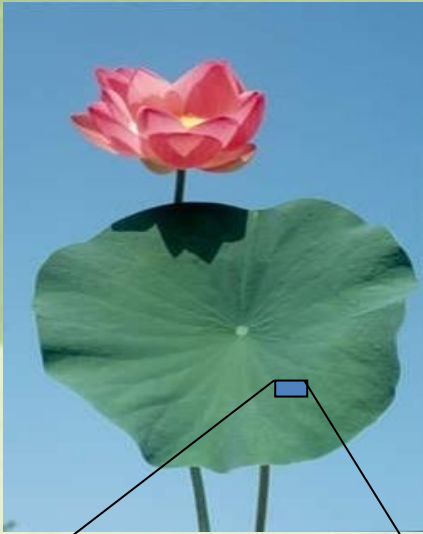
**Powierzchnia
superhydrofobowa**

**Powierzchnia
hydrofobowa**

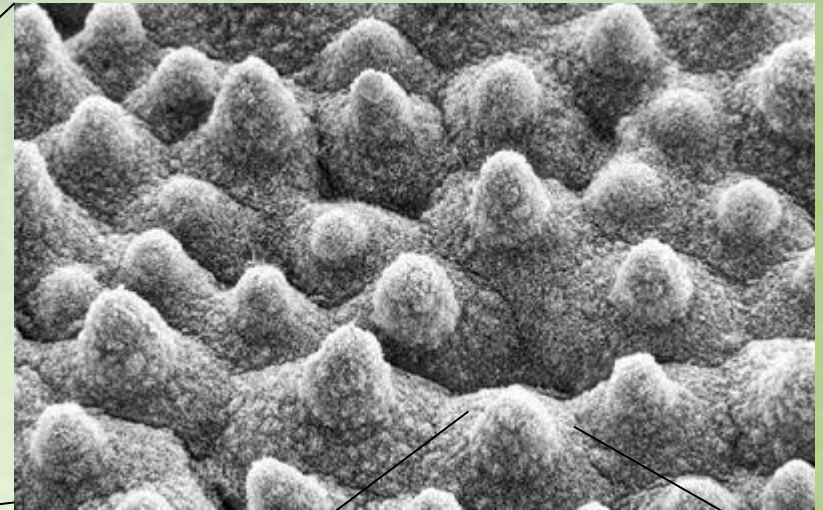
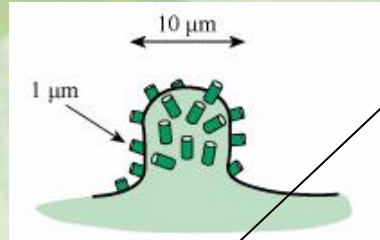


Na czym polega efekt lotosu?

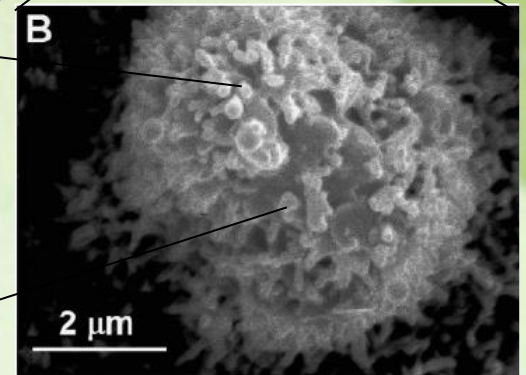
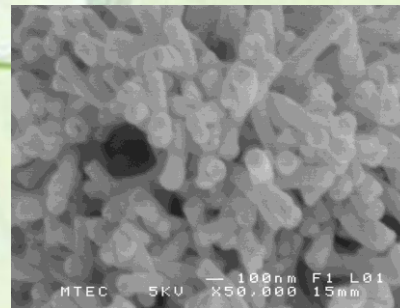
Tajemnica ukryta w połączeniu odpowiedniej struktury hierarchicznej z materiałem użytym do jej budowy



Copyright Lotus Effect®



Copyright Lotus Effect®

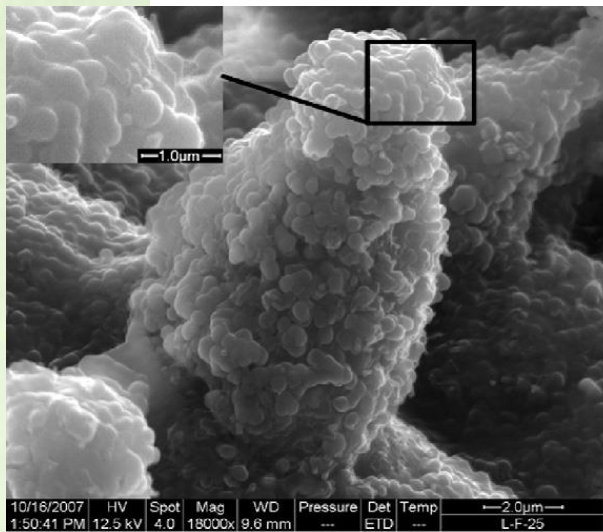


Barthlot et al. *Planta* **202**, 1 (1997)
Feng et al. *Adv. Mater.* **14**, 1857 (2002)



Na czym polega efekt lotosu?

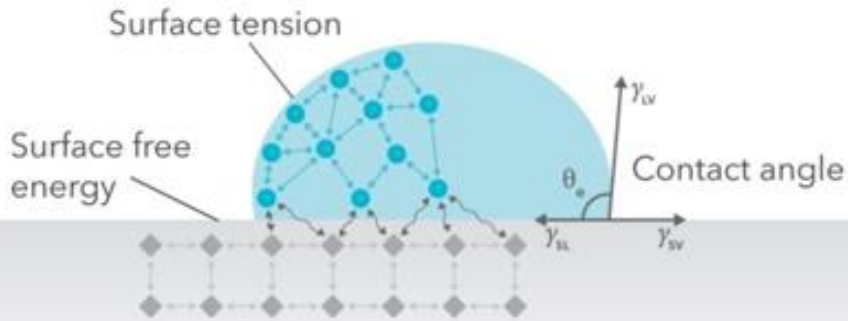
Tajemnica ukryta w połączeniu odpowiedniej struktury hierarchicznej z materiałem użytym do jej budowy



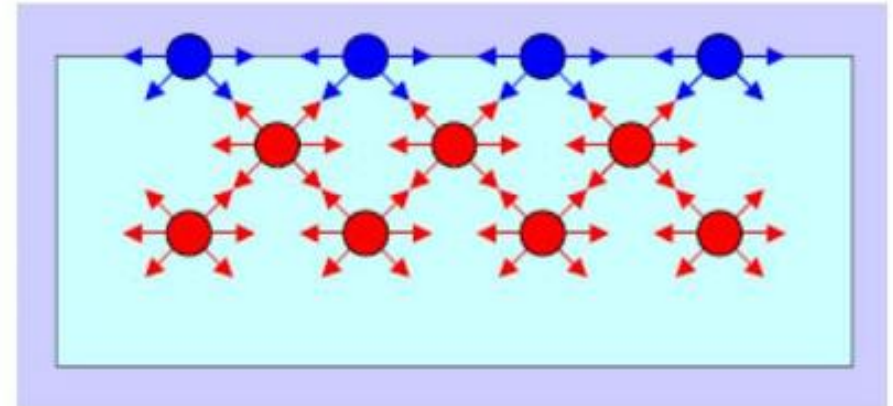
10/16/2007 HV Spot Mag WD Pressure Det Temp
1:50:41 PM 12.5 kV 4.0 18000x 9.6 mm --- ETD ---
--- 2.0 μm ---
L-F-25



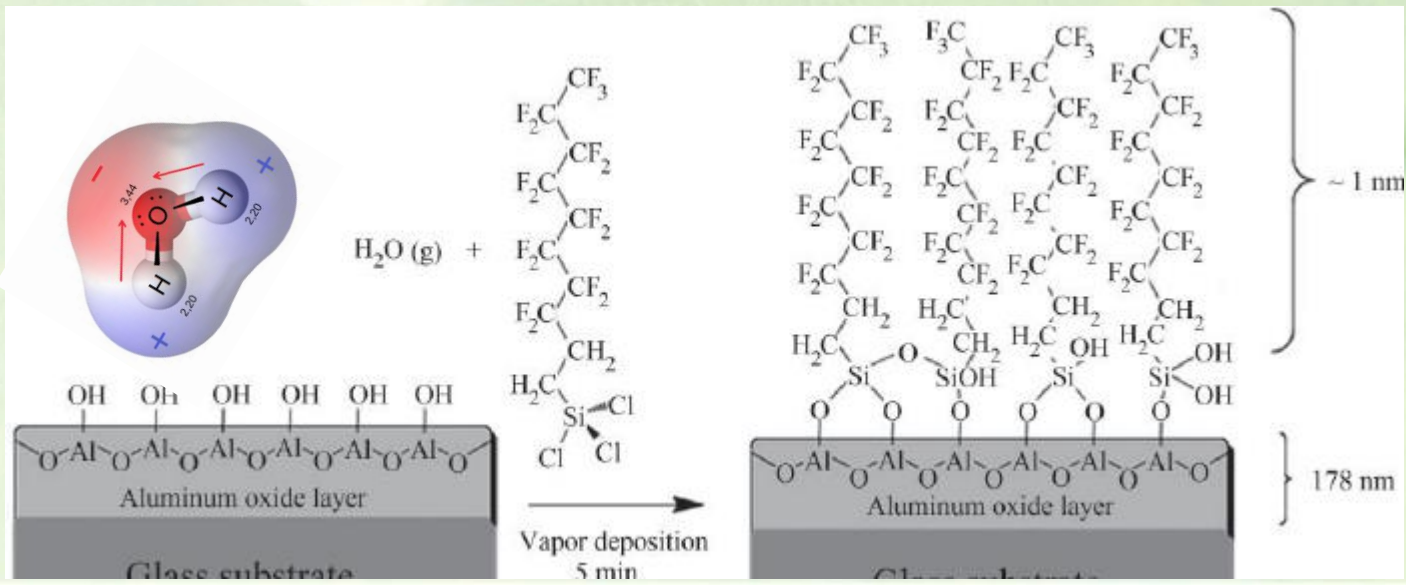
Napięcie powierzchniowe i Swobodna Energia Powierzchniowa



Swobodna Energia Powierzchniowa



Napięcie powierzchniowe





Na czym polega efekt lotosu?

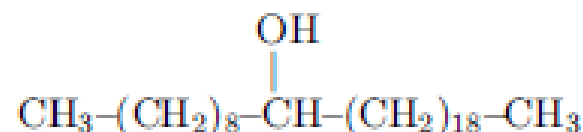
Budowa chemiczna głównych składników wosków pokrywających liść lotosu

n-hexatriacontane

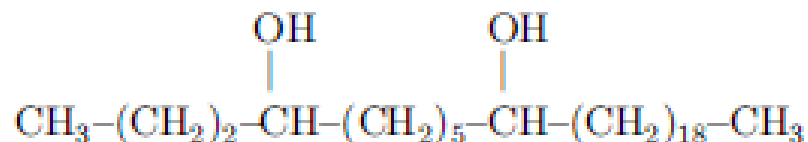


Tropaeolum majus

nonacosan-10-ol

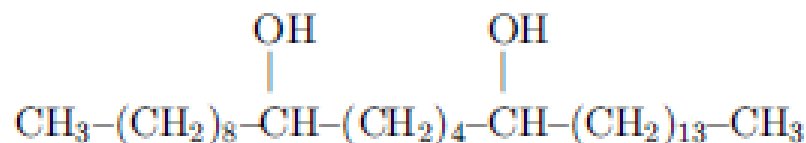


nonacosane-4,10-diol

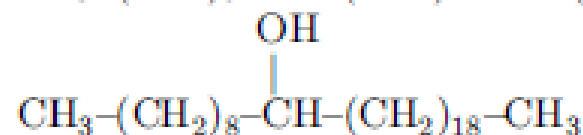


lotus

nonacosane-10,15-diol



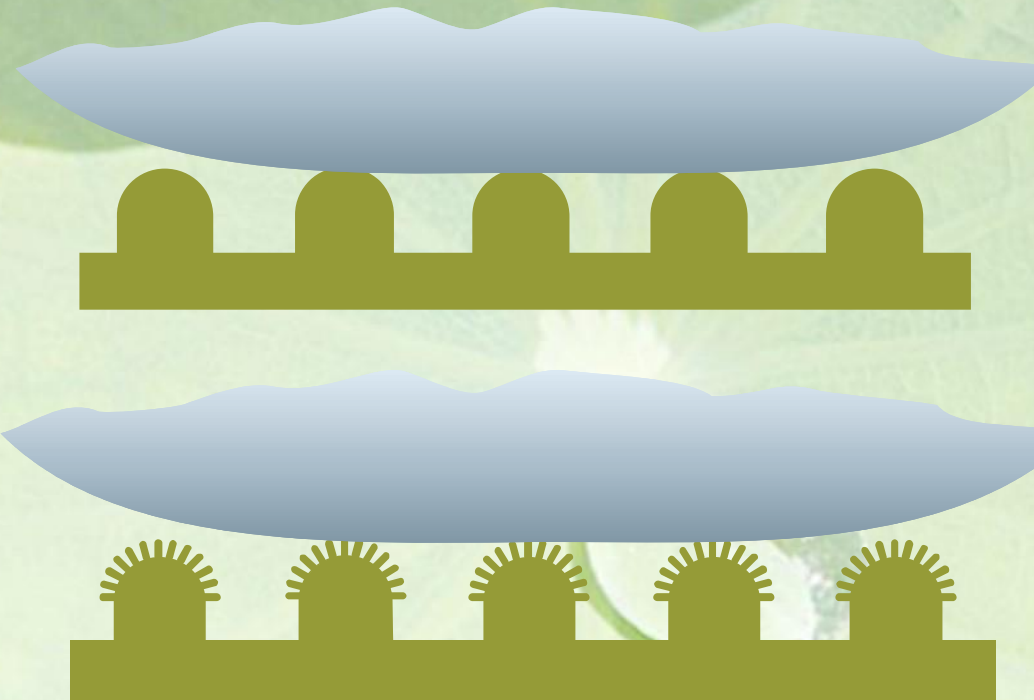
nonacosan-10-ol



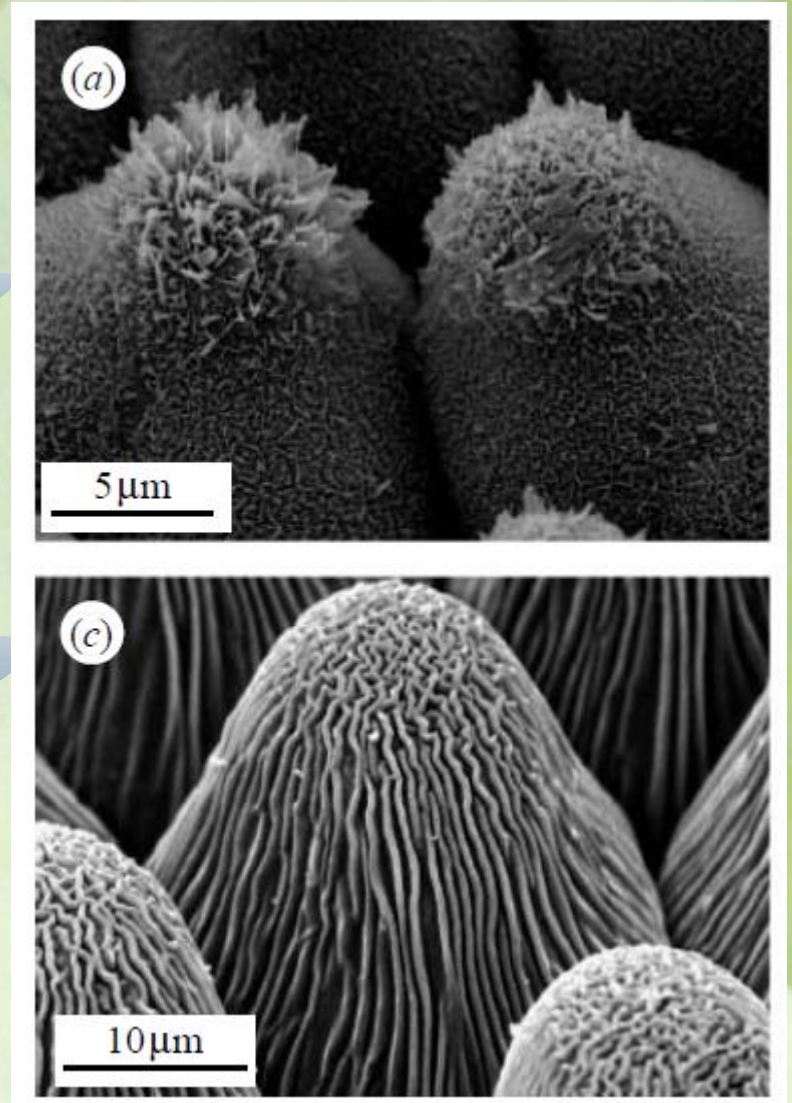


Na czym polega efekt lotosu?

Wpływ stopnia rozwinięcia powierzchni na kąt zwilżania



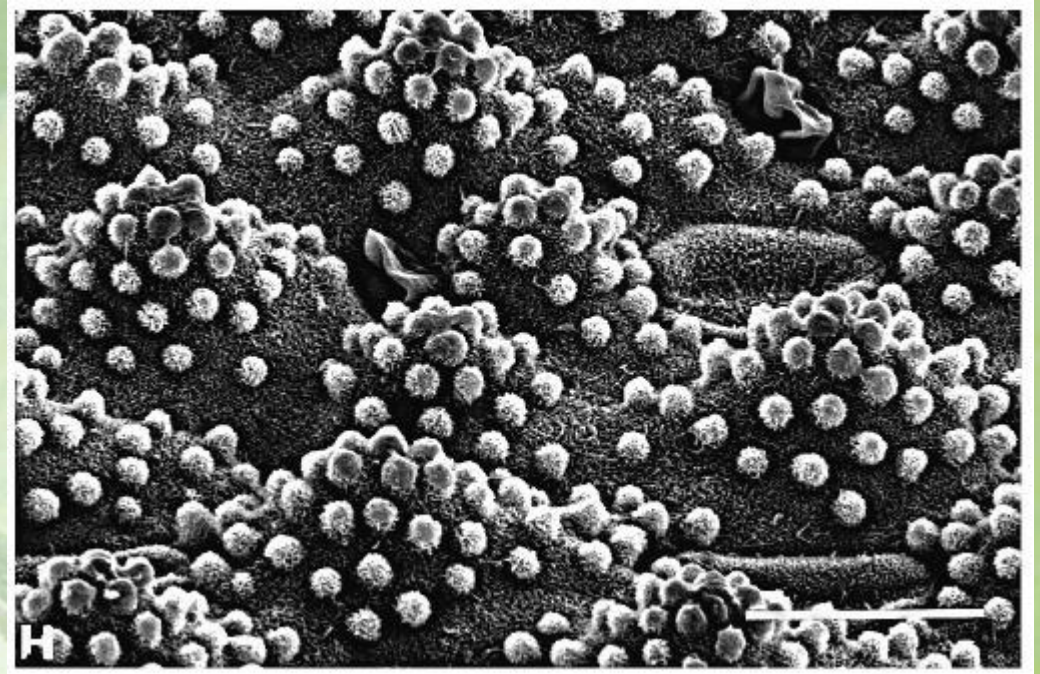
„Strategia” wybrana przez rośliny typu lotos prowadząca do zmniejszenia powierzchni kontaktu kropli wody z powierzchnią liścia





Na czym polega efekt lotosu?

Różne typy superhydrofobowych powierzchni liści

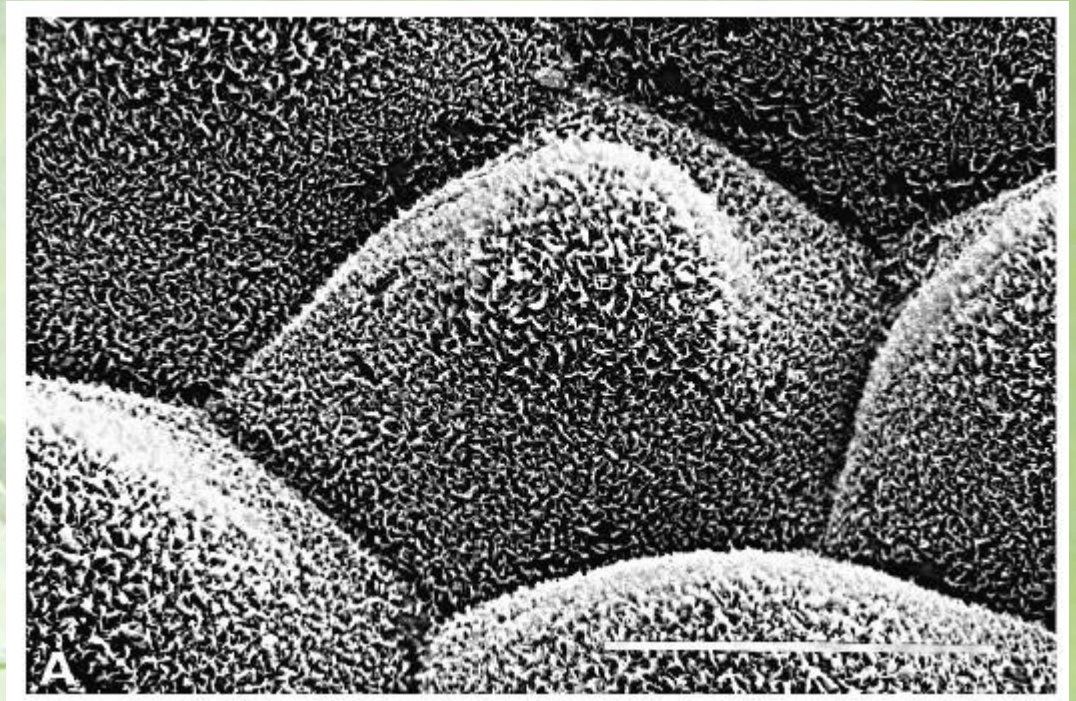


Hygoryza aristata – roślina o trójpoziomowej strukturze hierarchicznej powierzchni liścia



Na czym polega efekt lotosu?

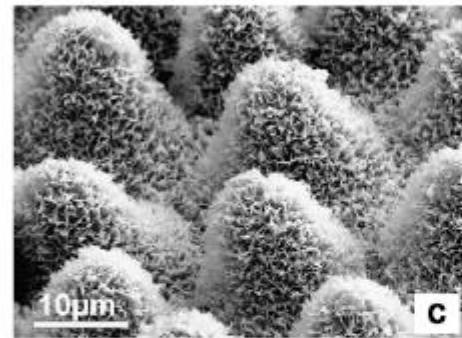
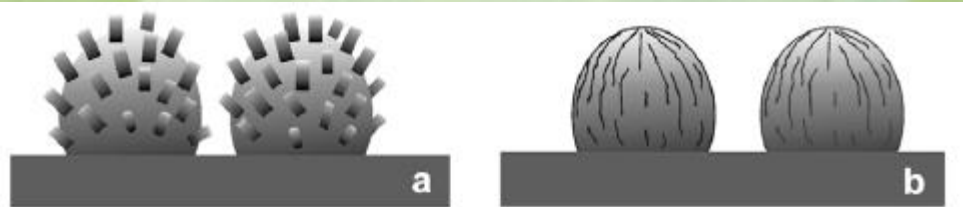
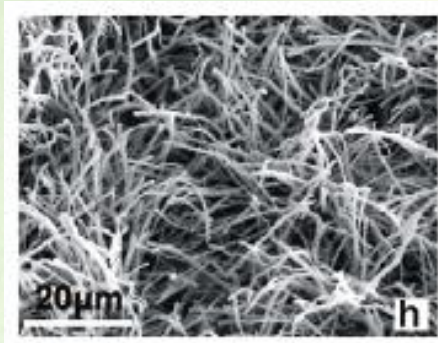
Różne typy superhydrofobowych powierzchni liści



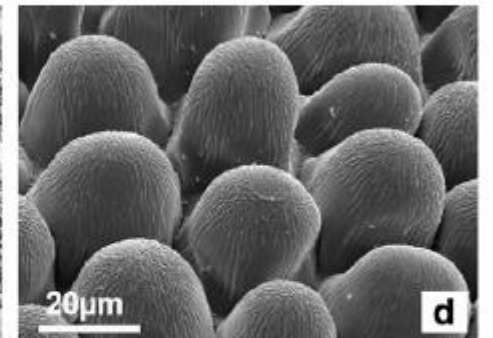
Colocasia esculenta – roślina o dwupoziomowej strukturze hierarchicznej powierzchni liścia



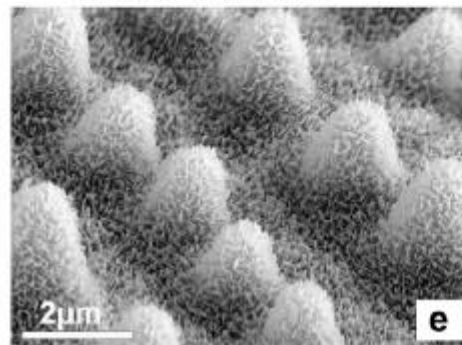
Efekt lotosu to również „patent” wielu innych gatunków roślin



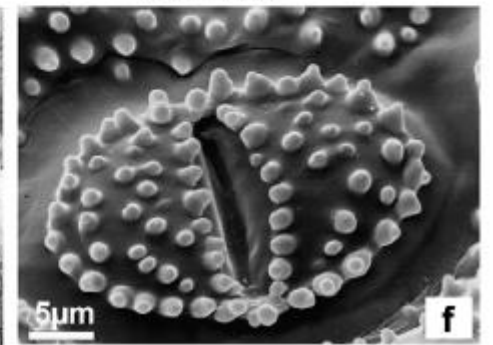
Euphorbia myrsinites



Dahlia spp.



Oryza sativa

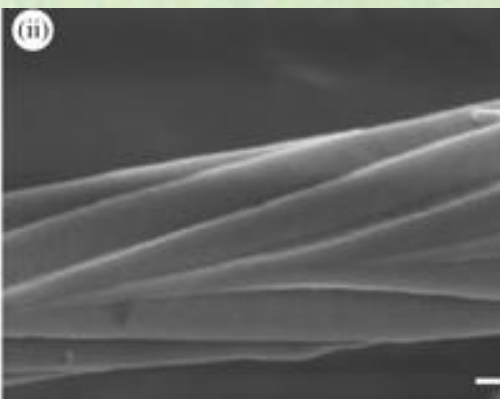
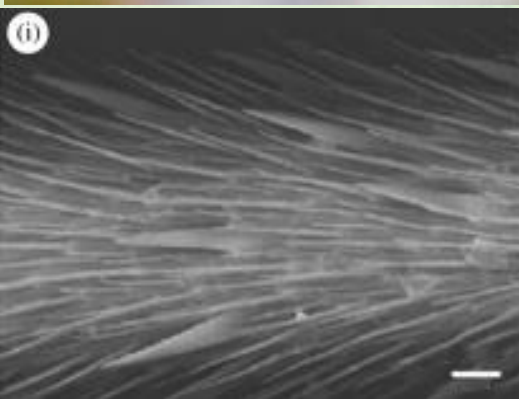
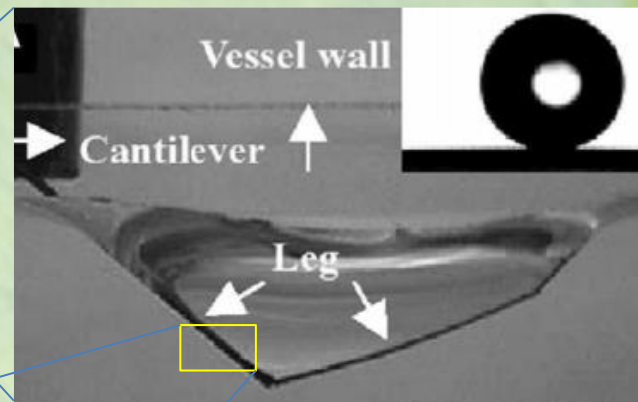
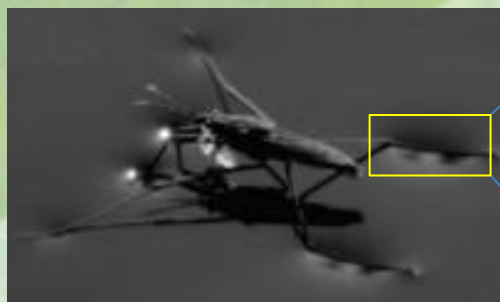


Equisetum arvensis

Polacy nie gęsi własny „lotos” mają
Krajowa nasturcja nie ustępuje superhydrofobowością
powierzchni liści egzotycznemu lotosowi



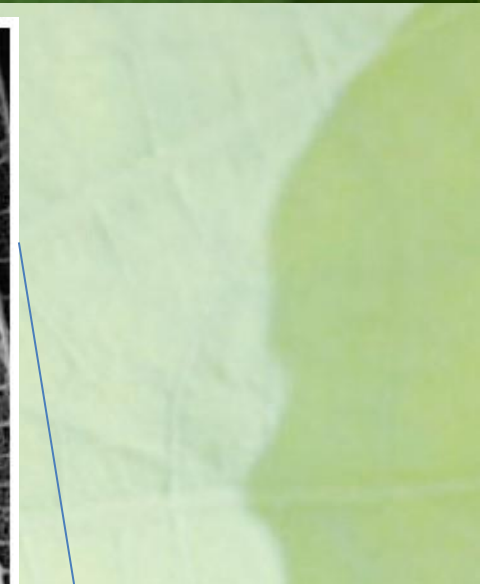
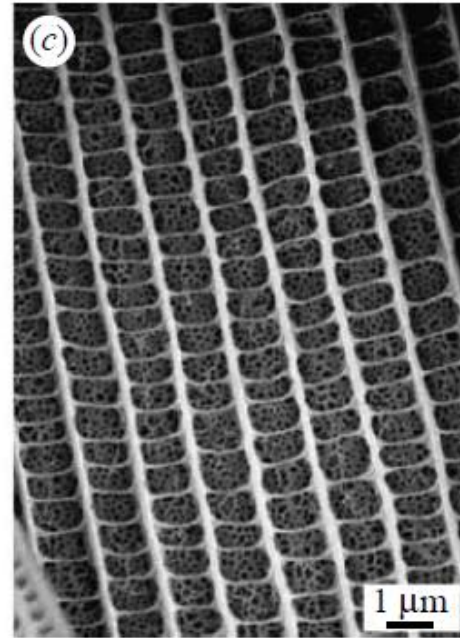
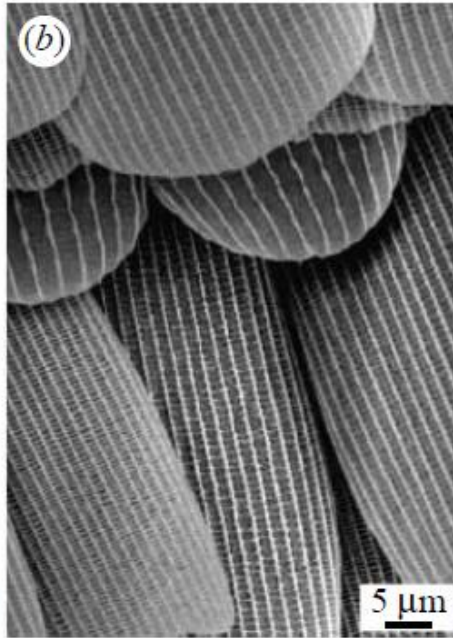
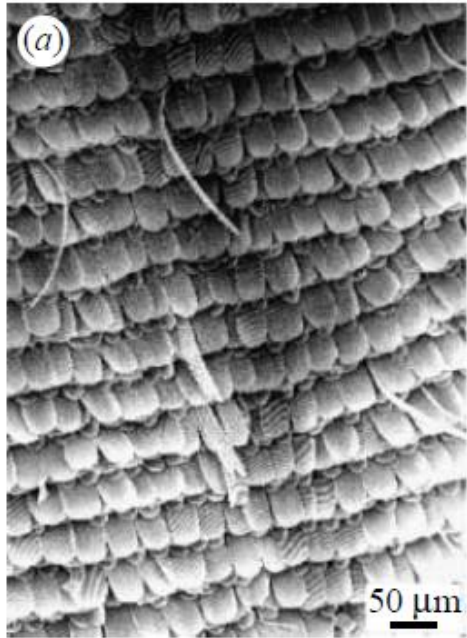
Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań



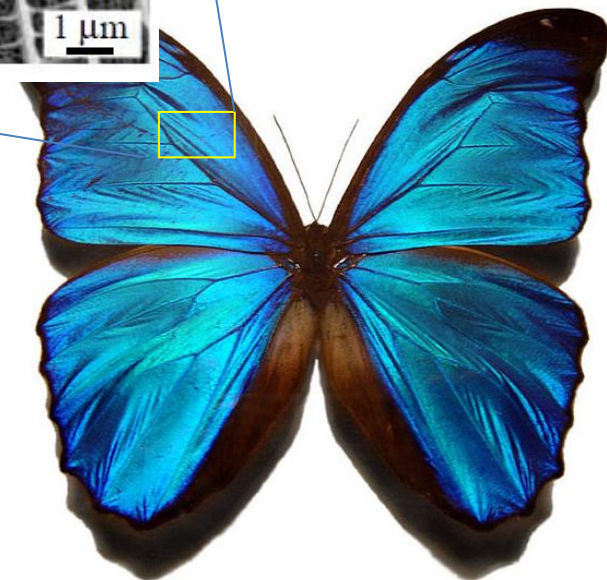
Właściwości superhydrofobowe powierzchni pozwalają chodzić pająkom po wodzie czy też chronią delikatne motyle przed zmożeniem



Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań

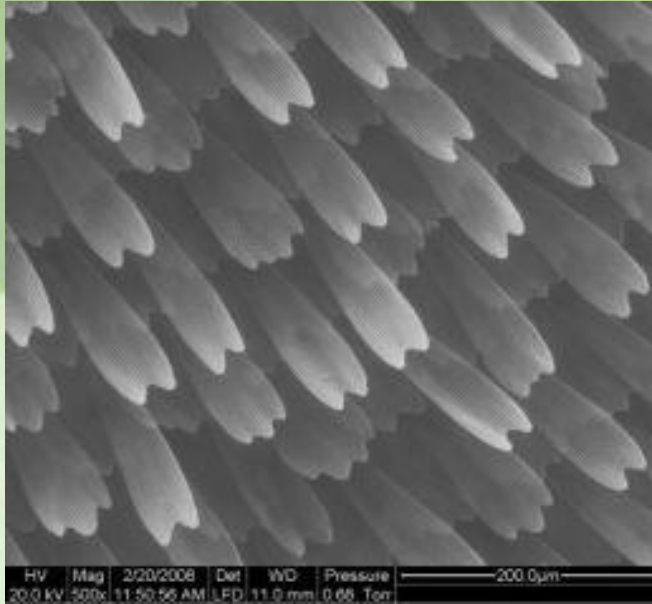


Właściwości superhydrofobowe powierzchni skrzydła motyla *Polyommatus icarus* chronią delikatne motyle przed zmoczeniem





Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań



Właściwości superhydrofobowe powierzchni skrzydła motyla chronią delikatne motyle przed zmoczeniem



Powierzchnie superhydrofobowe wytwarzane przez człowieka

Problemy jakie należy rozwiązać

Jak wytworzyć powierzchnię o strukturze hierarchicznej?

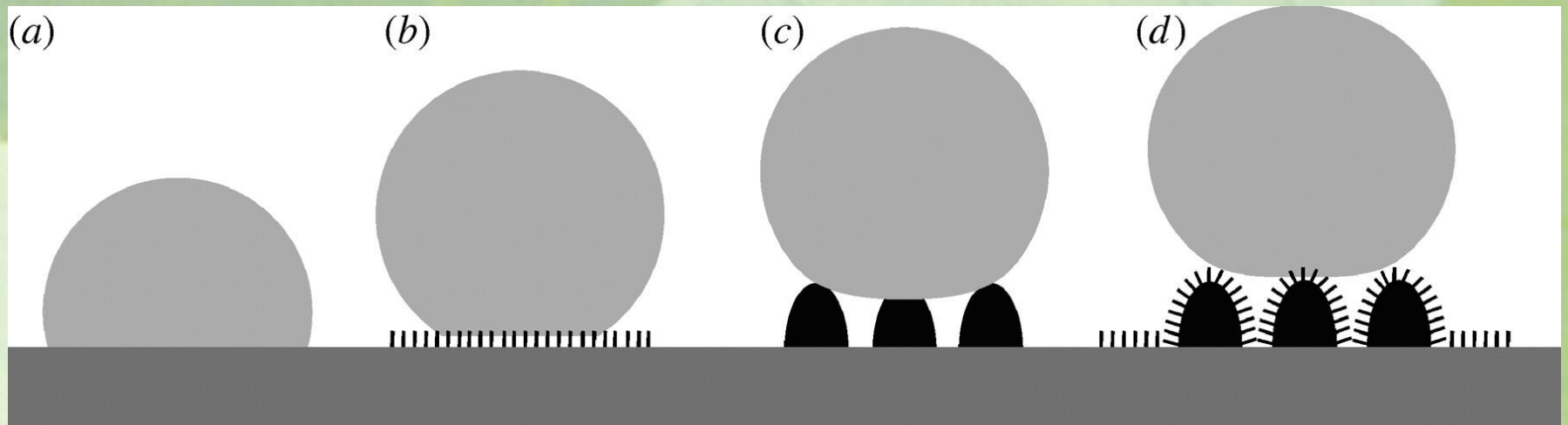
Jak maksymalnie obniżyć swobodną energię powierzchniową wytworzonej struktury hierarchicznej?

Jak zapewnić dostateczną trwałość mechaniczną wytworzonej powierzchni superhydrofobowej?



Na czym polega efekt lotosu?

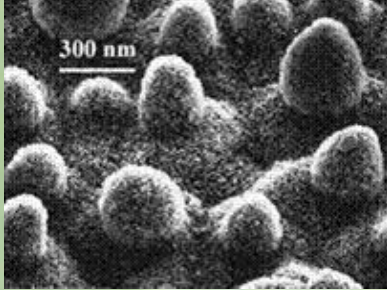
Różne struktury mające na celu zmniejszyć powierzchnię kontaktu pomiędzy kroplą a podłożem



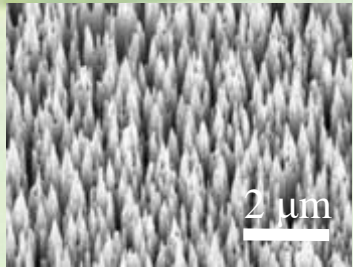
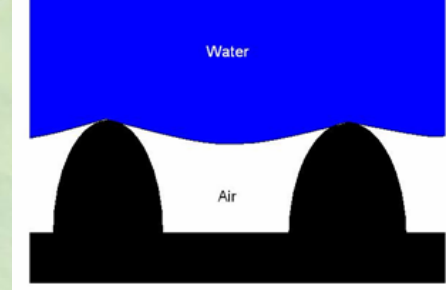


Powierzchnie superhydrofobowe wytwarzane przez człowieka

Lotus-Leaf Surface

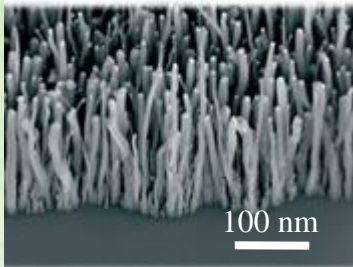


Lotus-Leaf Effect



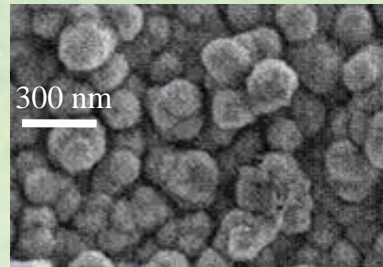
(J. Kim et al, 2002)

Nano-turf using silicon etching



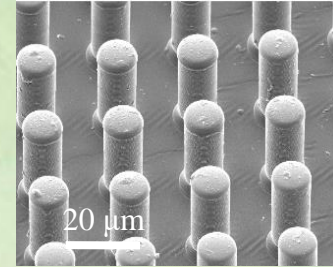
(P. Joseph et al, 2006)

Carbon nanotube forest



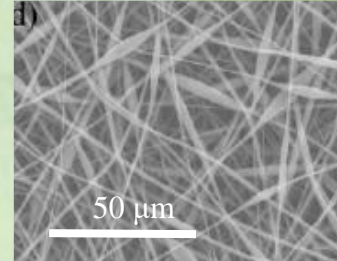
(A. Balasubramanian et al, 2003)

Chemically treated copper



(A. Cannon et al, 2006)

Micro-molding



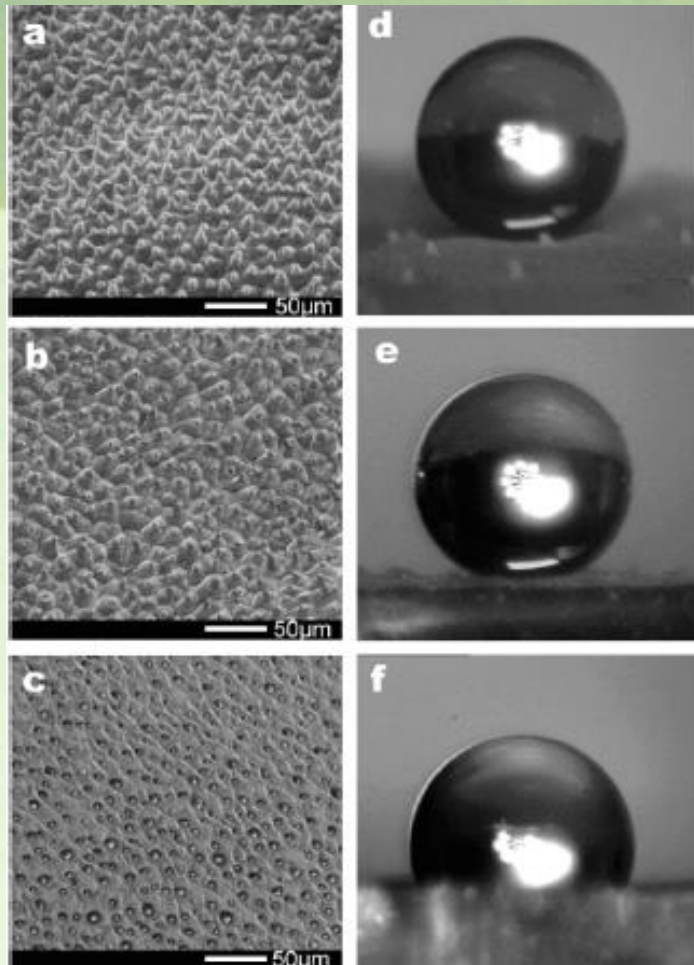
(T. Lin et al, 2009)

Electro-spinning



Powierzchnie superhydrofobowe wytwarzane przez człowieka

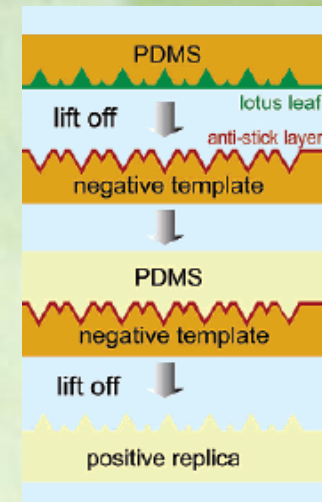
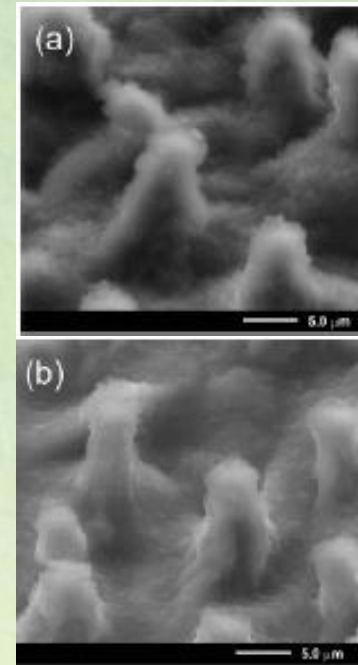
Rozwiązania – Skopiować naturę
Wykonanie kopii liścia lotosu za pomocą gumy silikonowej PDMS



Oryginalny liść lotosu

Kopia liścia lotosu w PDMS

Forma negatywowa liścia lotosu w PDMS

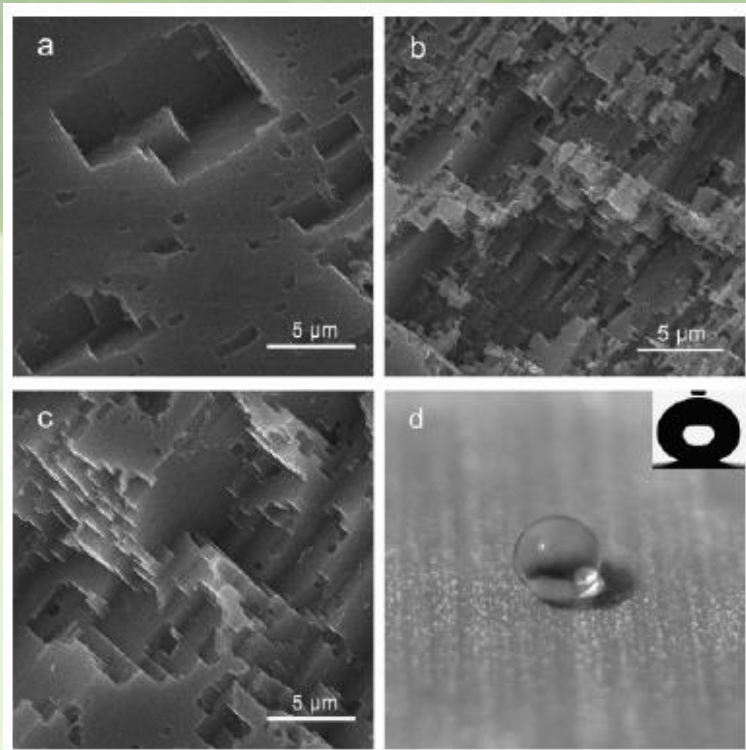


Metodyka wykonania kopii



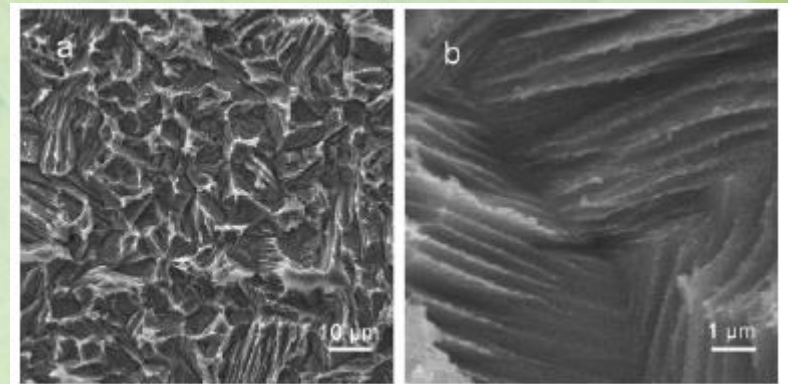
Powierzchnie superhydrofobowe wytwarzane przez człowieka

Rozwiązania – wytworzyć powierzchnię hierarchiczną w oparciu o procesy stochastyczne np. trawienie powierzchni metali

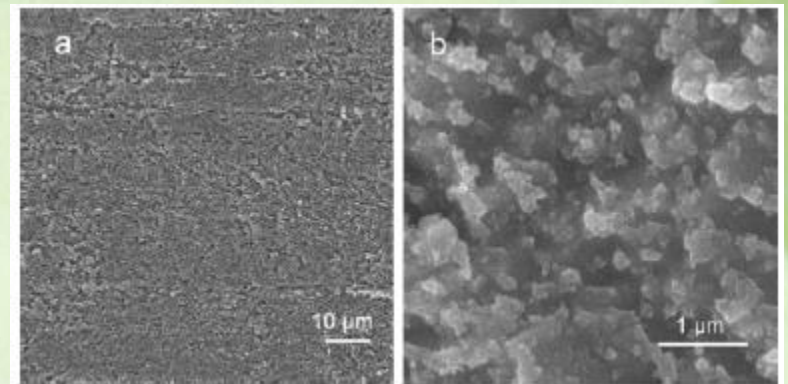


Trawiona i hydrifobizowana powierzchnia Aluminium

Langmuir 2005, 21, 9007–9009



Trawiona i hydrifobizowana powierzchnia cynku

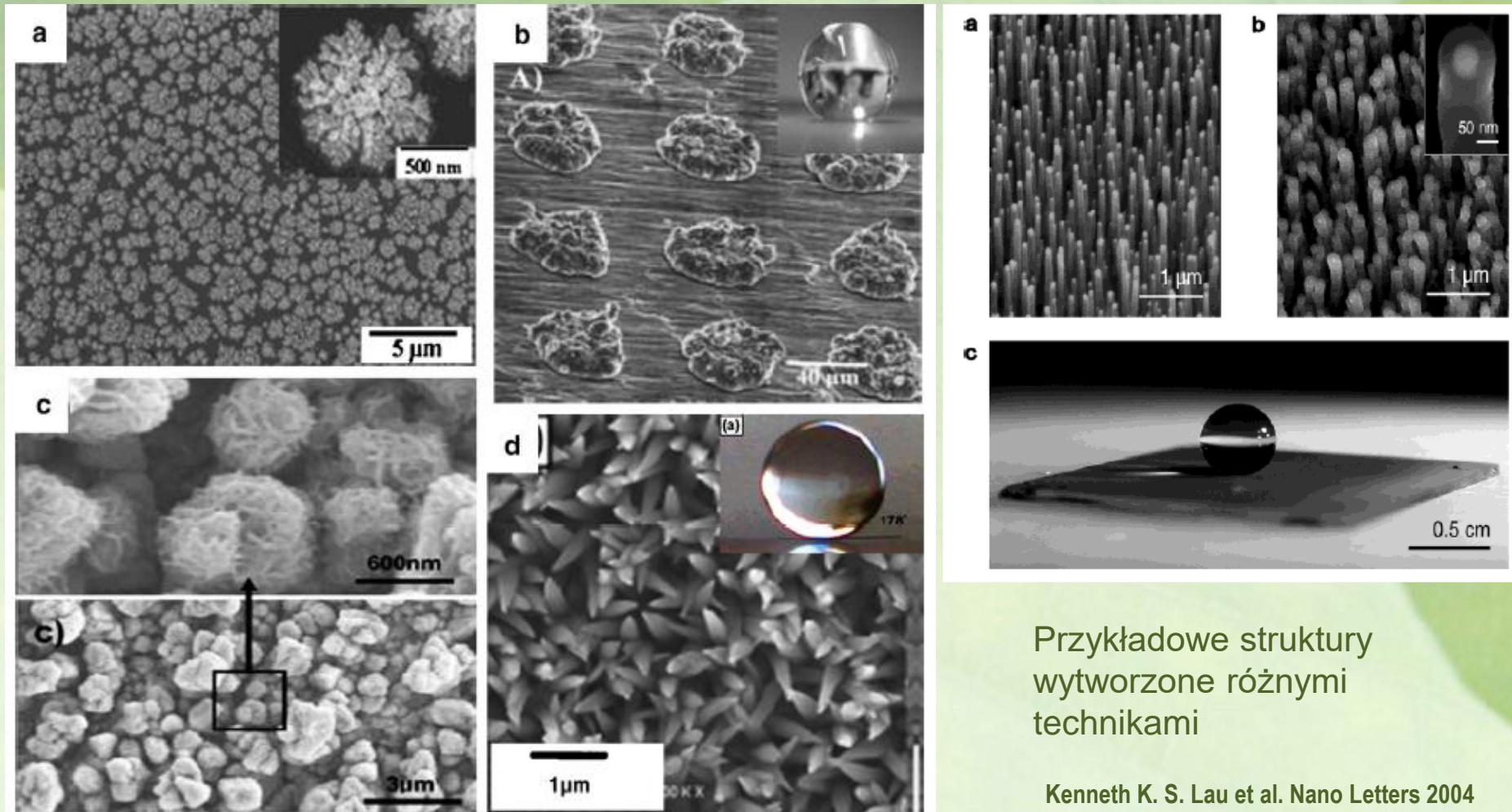


Trawiona i hydrifobizowana powierzchnia miedzi



Powierzchnie superhydrofobowe wytwarzane przez człowieka

Rozwiązania – wytworzyć powierzchnię hierarchiczną w oparciu o procesy stochastyczne np. elektrochemiczne osadzanie lub techniki CVD



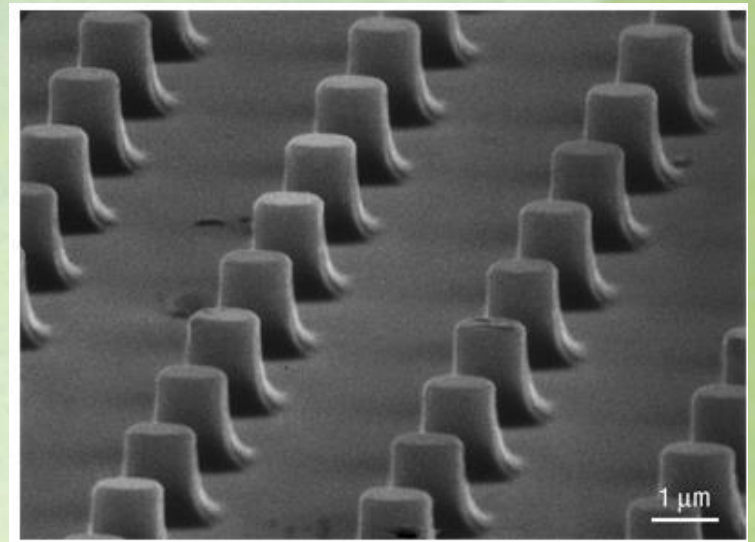
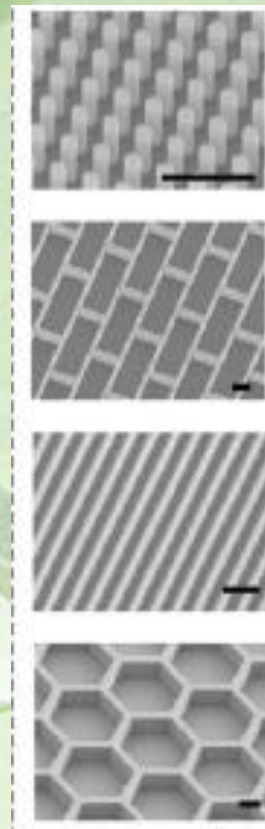
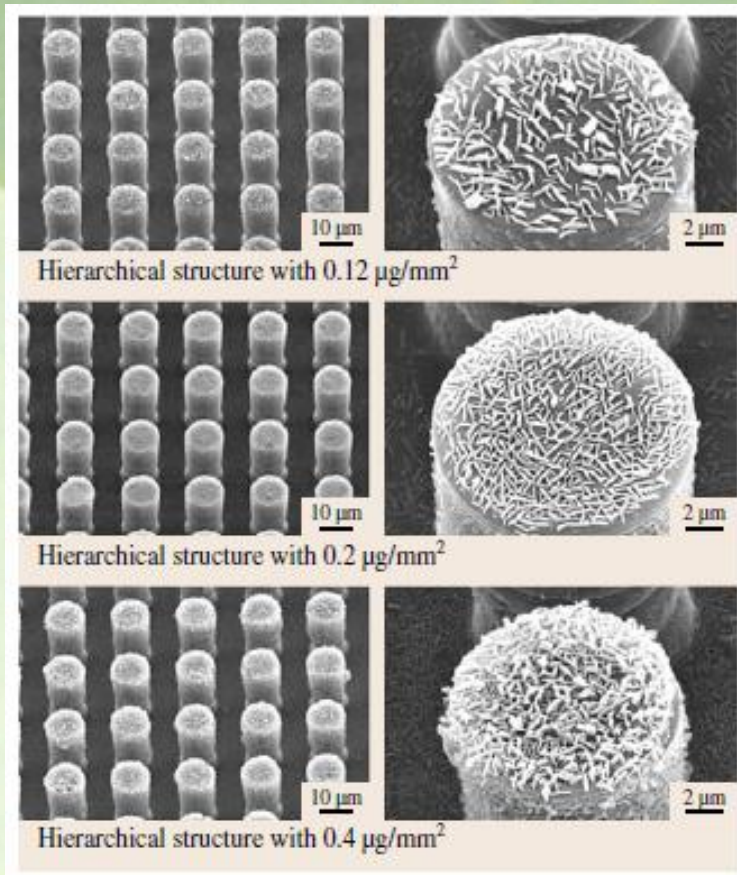
Przykładowe struktury
wytworzone różnymi
technikami

Kenneth K. S. Lau et al. Nano Letters 2004



Powierzchnie superhydrofobowe wytwarzane przez człowieka

Rozwiązania – wytworzyć powierzchnię hierarchiczną o określonej kontrolowanej strukturze np. wykorzystując litografię optyczną

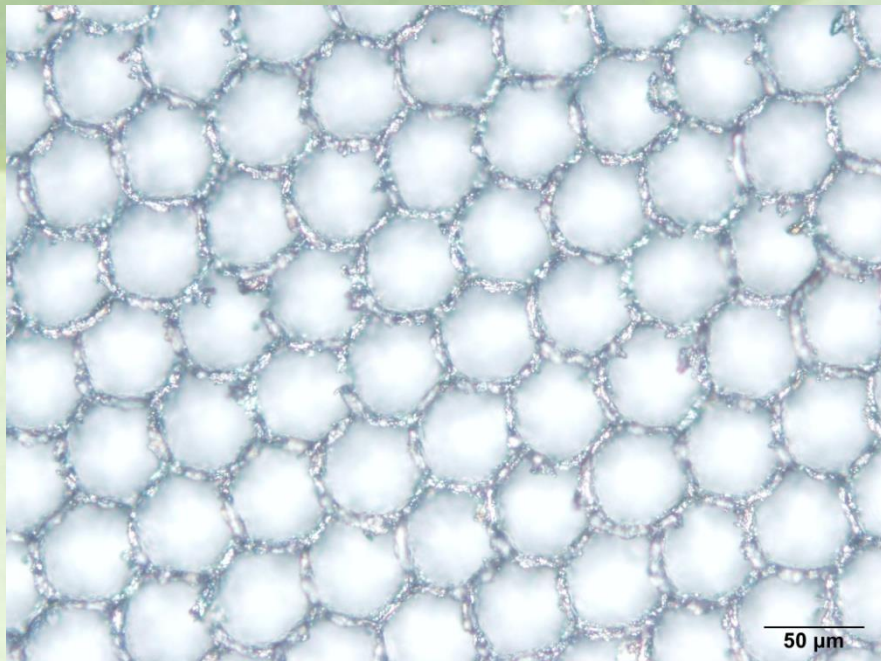


Przykładowe struktury wytworzonej fotolitograficznie

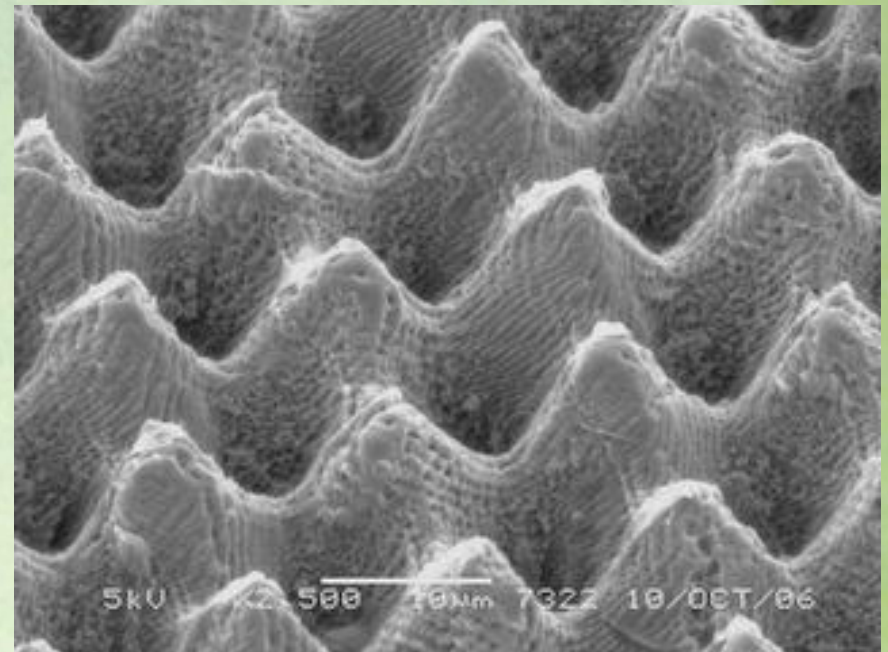


Powierzchnie superhydrofobowe wytwarzane przez człowieka

Rozwiązania – wytworzyć powierzchnię hierarchiczną o określonej kontrolowanej strukturze np. wykorzystując laserową obróbkę powierzchni



Otwory wytworzone laserem IR
w aluminium

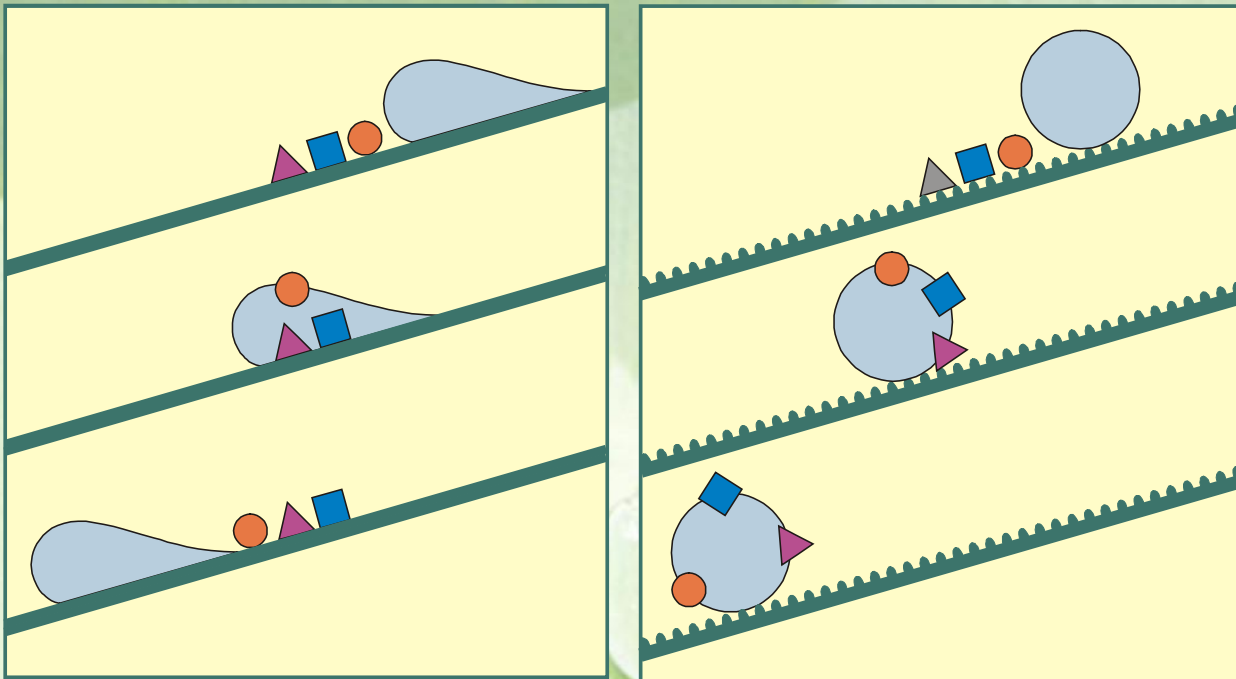


Otwory wytworzone laserem IR
w polimerze



Właściwości powierzchni superhydrofobowych

Samoczyszczenie się powierzchni



Copyright Lotus Effect®

Spływające po powierzchni „lotosopodobnej” krople wody porywają ze sobą słabo związane z podłożem zanieczyszczenia

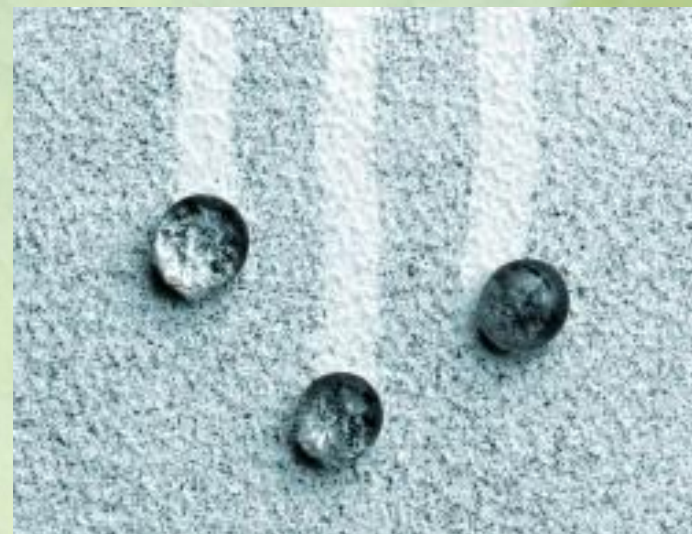


Właściwości powierzchni superhydrofobowych

Praktyczne wykorzystanie zjawiska samoczyszczenia się powierzchni



Fasad budynku po 4 latach od pomalowania



Powierzchnia tkaniny zmodyfikowana przez firmę BASF

Zastosowanie farb tworzących powierzchnie „lotosopodobne” krople wody porywają ze sobą słabo związane z podłożem zanieczyszczenia również mikroorganizmy chorobotwórcze



Potencjalne zastosowanie powierzchni superhydrofobowych

Powłoki przeciwooblodzeniowe



Odbicie się przechłodzonej kropli wody od powierzchni skrzydła zanim zamarznie tworząc groźne oblodzenie jest podstawą idei realizowanego projektu badawczego



Potencjalne zastosowanie powierzchni superhydrofobowych

Powłoki przeciwooblodzeniowe



Odbicie się przechłodzonej kropli wody od powierzchni skrzydła zanim zamarznie tworząc groźne oblodzenie jest podstawą idei realizowanego projektu badawczego



Powłoki oleofobowe



**NORMAL
SCREEN**

**OLEOPHOBIC
SCREEN**



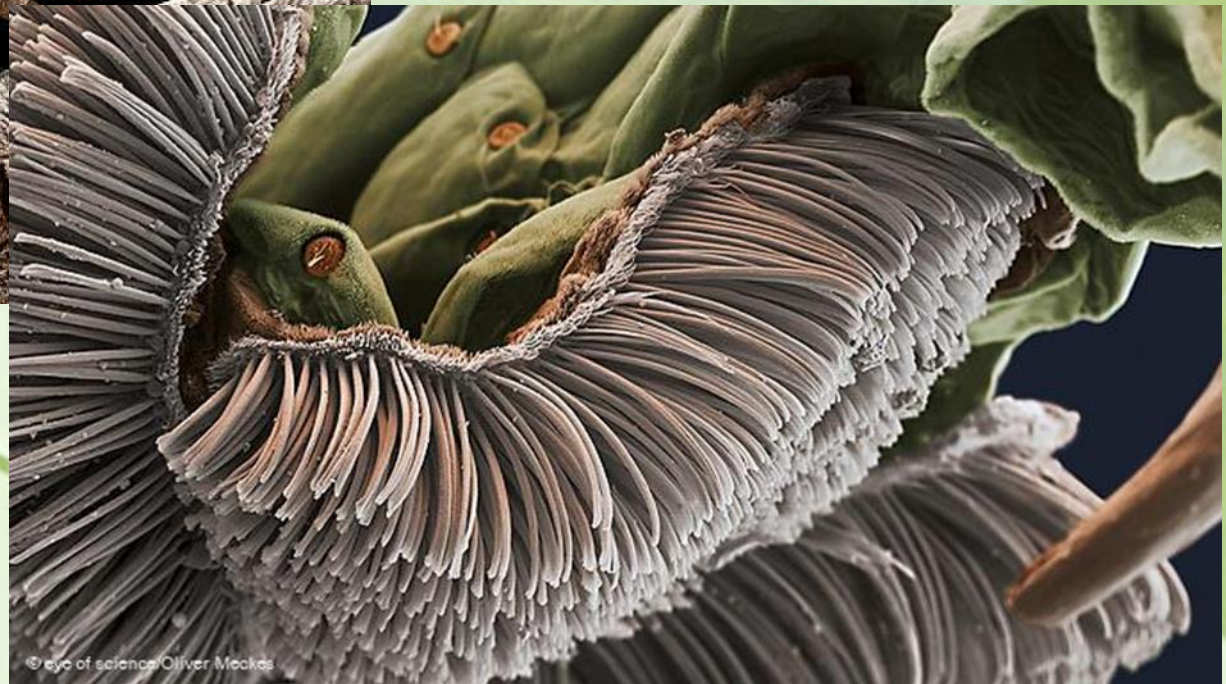
A co z gekonem?



Gekon podwieszony do gładkiej tafli szkła – dlaczego on nie spada?



Łapka gekona z bliska



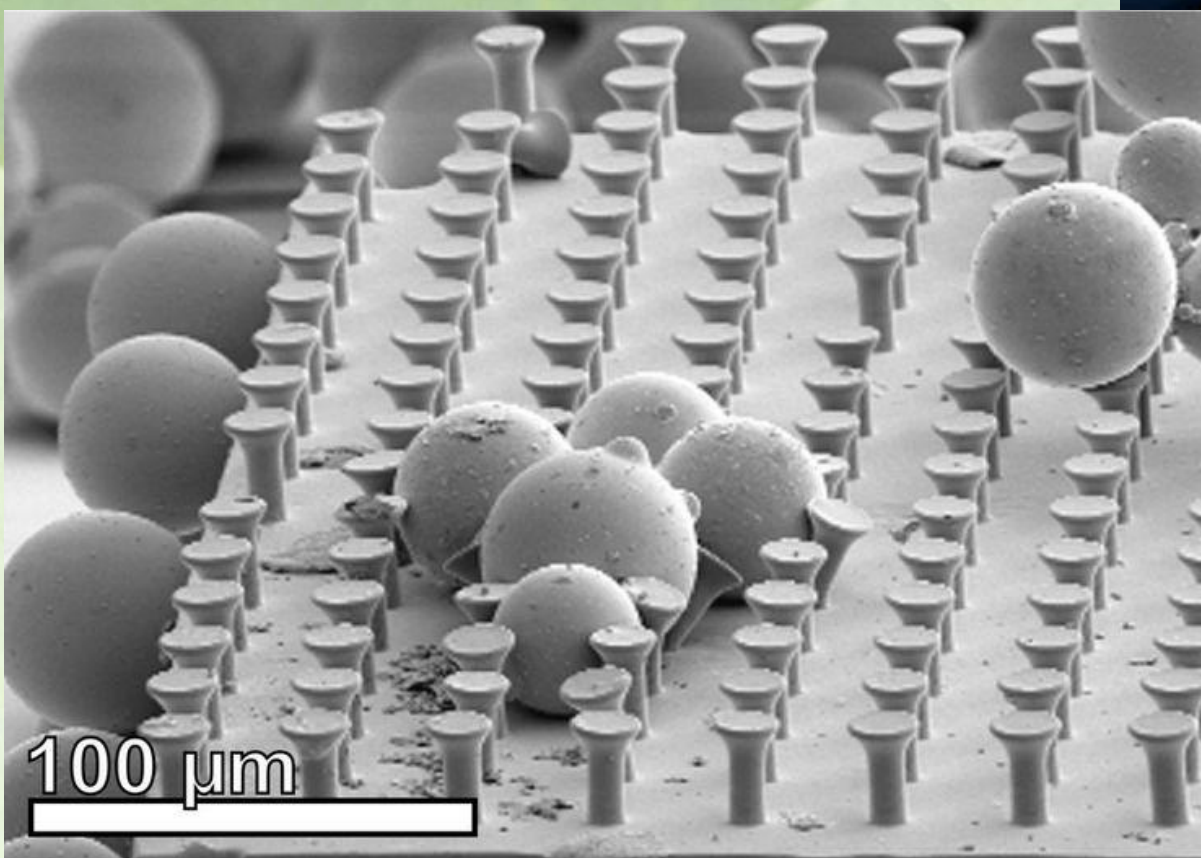
Zdjęcie z mikroskopu elektronowego powierzchni łapki gekona



Sztuczne struktury inspirowane gekonem



SPL



100 μm

Zdjęcie z mikroskopu elektronowego powierzchni łapki gekona



Sztuczne struktury inspirowane gekonem

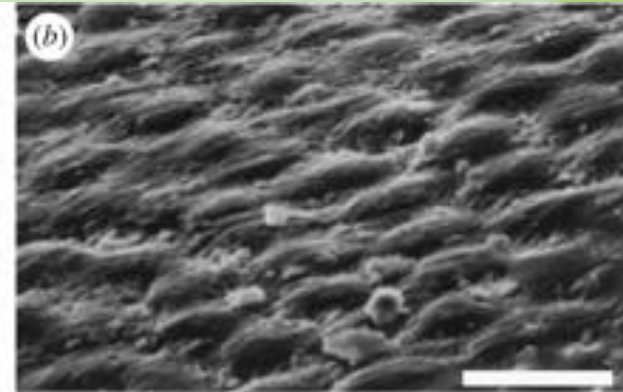


Czy człowiek może naśladować gekona?



Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań

Efekt płatków róż na żukach



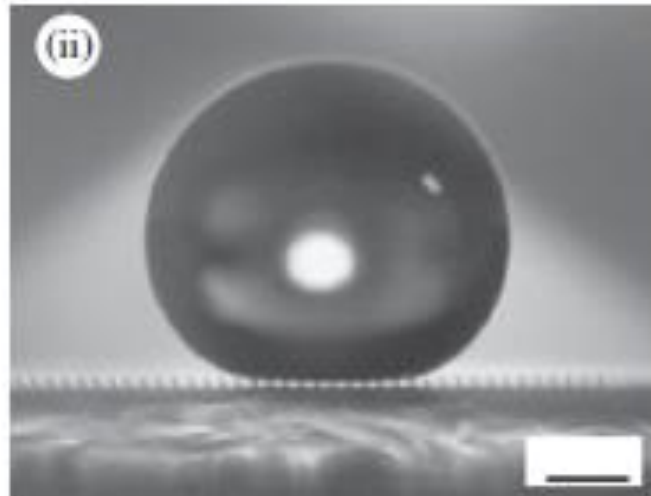
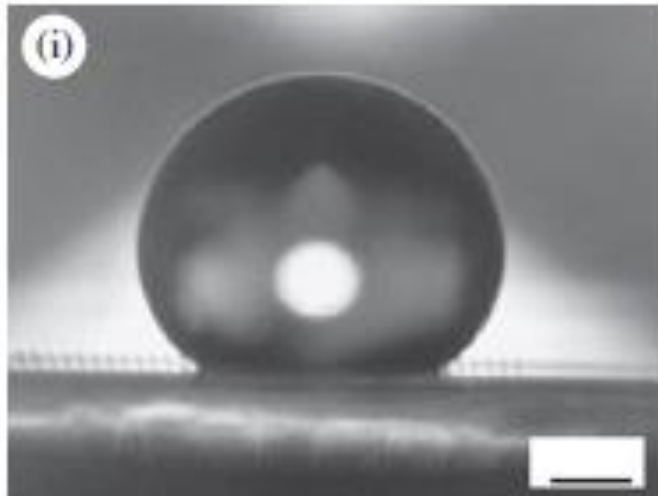


Efekt płatków róż

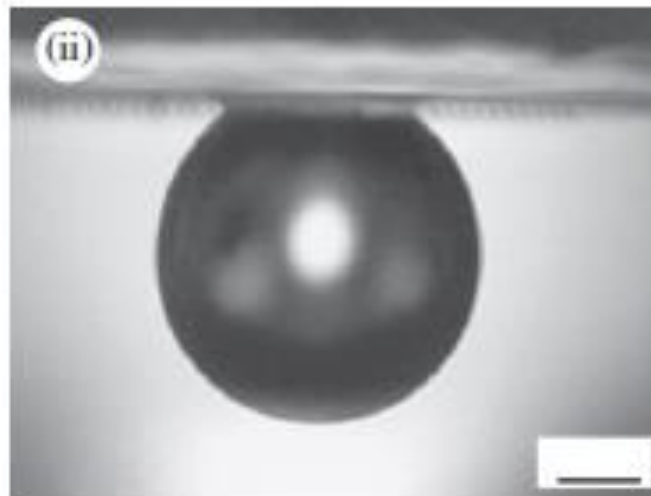
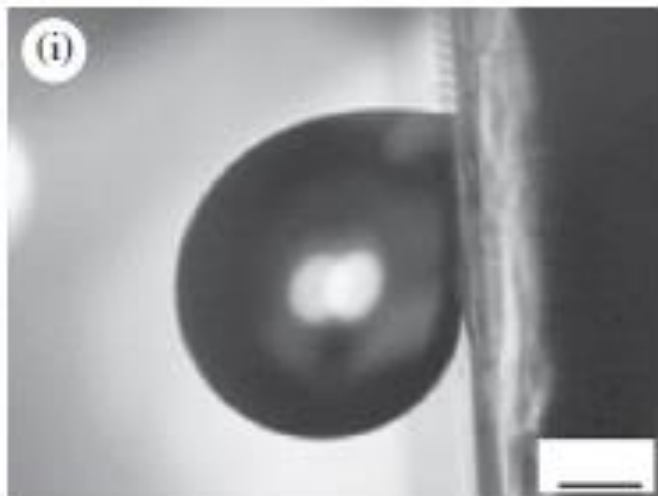




Efekt płatków róż



(c)





Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań – a my się od niego uczy





Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań – a my się od niego uczymy





Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań – a my się od niego uczymy





Również świat zwierząt korzysta z podobnych rozwiązań – a my się od niego uczy





Dziewięć scenariuszy zwilżania powierzchni



lotus



rose



rose filled microstructure



Cassie



Wenzel



Wenzel filled microstructure



Cassie filled nanostructure



Wenzel filled nanostructure

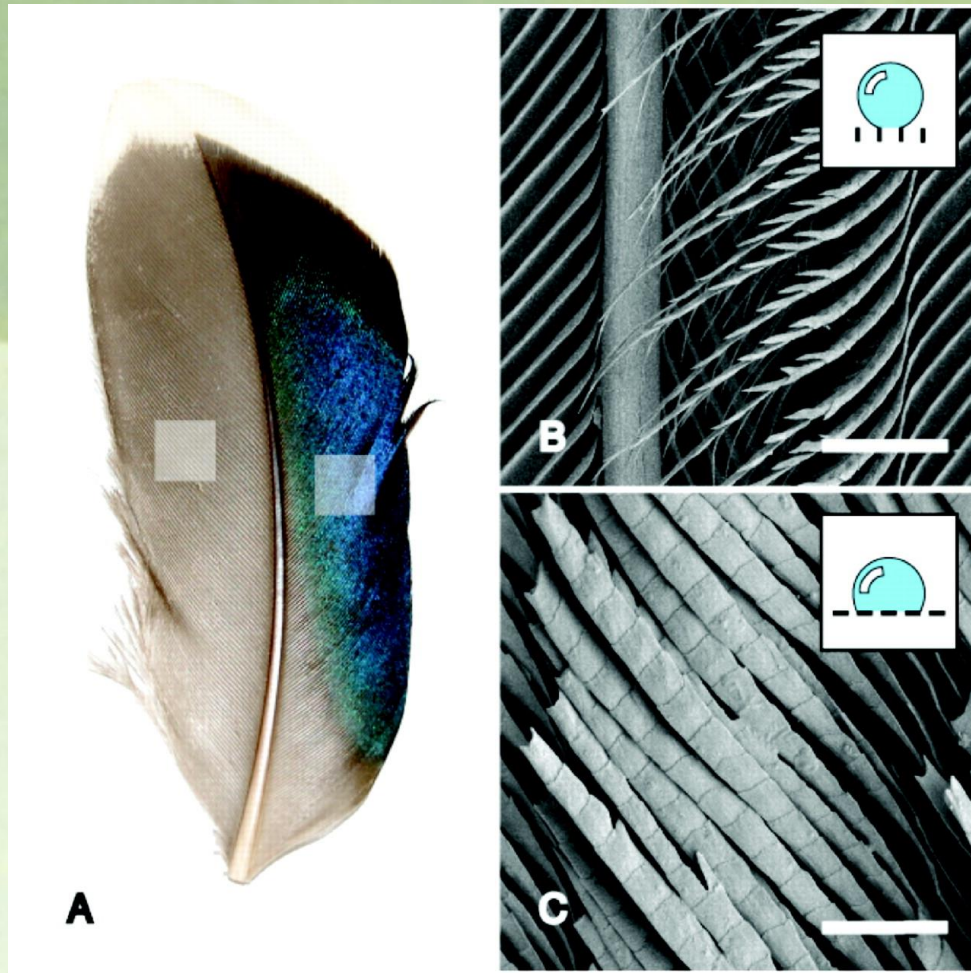


Wenzel filled micro/nanostructure

Figure 4. Schematic of nine wetting scenarios for a surface with hierarchical roughness.



A co z ptakami?



Hydrofobowe powierzchnie piór



Podsumowanie

Naukowcy i inżynierowie zainspirowani niezwykłymi właściwościami powierzchni lotosu opracowują szereg rozwiązań podnoszących jakość i bezpieczeństwo naszego życia.

Jest to możliwe dzięki:

- Umiejętności wytworzenia hierarchicznych struktur na powierzchni różnych materiałów
- Umiejętności obniżania swobodnej energii powierzchni poprzez jej chemiczną modyfikację lub wytwarzanie odpowiednich materiałów

Powyższe rozwiązania powodują:

Wytworzenie bardzo małej powierzchni kontaktu pomiędzy kroplą wody a powierzchnią, skutkując brakiem zwilżania materiału i bardzo łatwemu oczyszczaniu się powierzchni.

Zjawisko to nosi nazwę efektu lotosu



Dziękuję za uwagę



Można by powiedzieć, że jest to wyjątkowo piękna i mądra roślina