



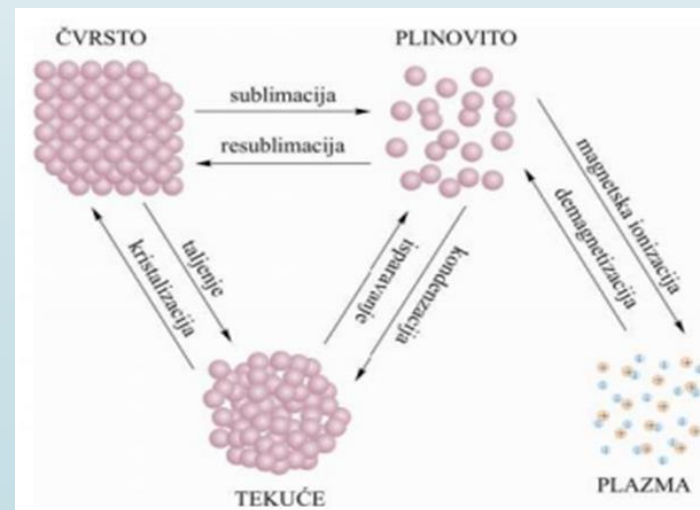
Plazma u mikro-nano svijetu

Predavač: Anja Ludaš, mag. ing. techn. text.

Tehnički muzej Nikola Tesla,
Zagreb 28.09.2023.

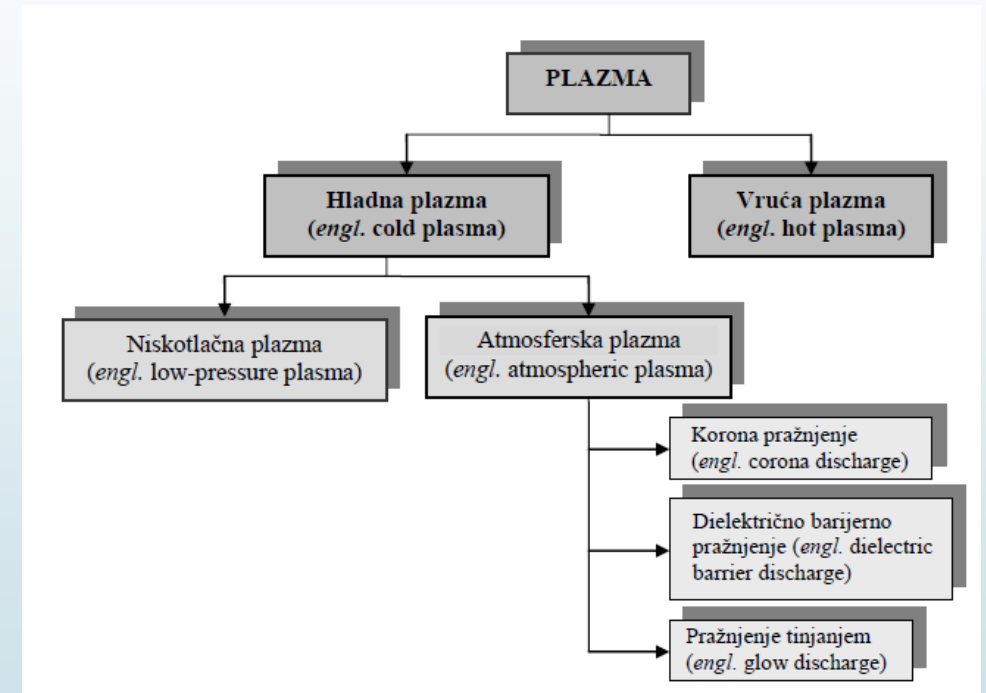
Što je plazma?

- Riječ plazma dolazi od grčke riječi „πλάσμα“, što u slobodnom prijevodu znači *samooblikovanje materijala*.
- Plazma je **četvrto agregatno stanje tvari**, pored čvrstog, tekućeg i plinovitog.
- U plazmi, atomi i molekule gube elektrone i postaju pozitivno nabijeni ioni i slobodni elektroni, to rezultira visoko-energetskim, neutralnim česticama koje se ponašaju kao plin, ali imaju električno vodljiva svojstva.
- U prirodi je plazma najzastupljenije fizikalno stanje u kojem se nalazi čak 99% vidljive materije u svemiru, a kao poznati primjeri plazme mogu se navesti: Aurora Borealis (Sjeverna zora), Van Allen Belt (zone radijacije), Sunce, Zvijezde, Zemljin omotač i dr.



Podjela plazme

- ▶ Oblici i vrste plazmi su brojni zbog čega se plazme mogu klasificirati prema više kriterija.
- ▶ Osnova klasifikacija plazmi je prema temperaturi pri kojoj se provode obrade: **vruće i hladne** plazme.
- ▶ S obzirom na tlak neutralnog plina u kojem se kreću ionizirane čestice u odnosu na atmosferski tlak plazme se dijele na **niskotlačne, atmosferske i visokotlačne** plazme.



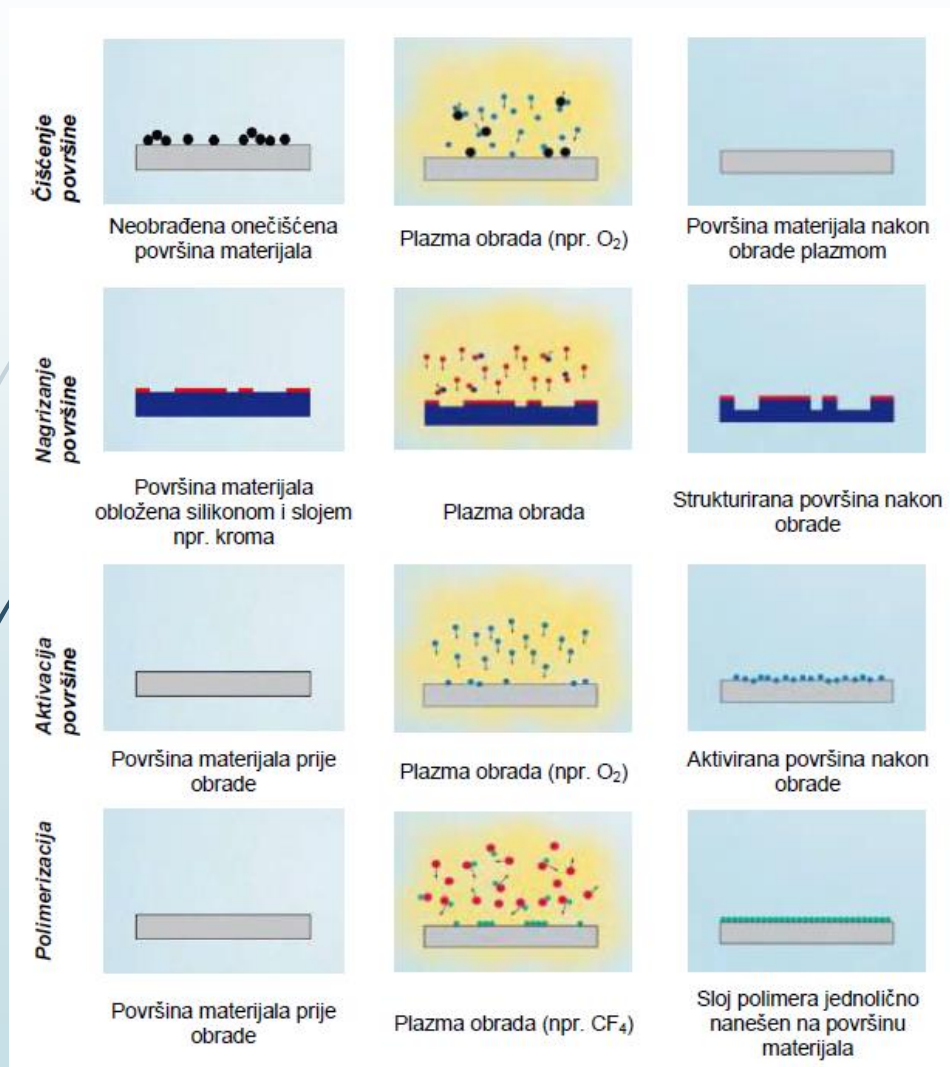
Mehanizam djelovanja plazme

- Plazma djeluje isključivo u površinskom sloju na mikro-nano razini (do 100 nm).
- Do koje reakcije će doći ovisi o parametrima plazme, tj. o prirodi plina i njegovim karakteristikama, te o vrsti materijala koji se obrađuje.
- **Kemijske reakcije** su rezultat interakcije plazme sa površinom ili česticama vezanim na površini supstrata. Tu su reakcije oksidacije i nagrivanja sa plinovima na bazi kisika, fluora ili klora. Do **fizikalnih reakcija** dolazi primjenom plemenitih (inertnih) plinova poput argona (Ar) ili helija (He).
- Modifikacijom površine ne utječe se na osnovna svojstva tekstila: voluminoznost, čvrstoću, mekoću, fleksibilnost, teksturu i dr.
- Primjenjiva je za raznovrsne supstrate - široke su mogućnosti izbora materijala.
- Obrada plazmom je ekološki, zeleni proces koji nema utjecaja na okoliš i okolinu u kojoj se radi obrada.



Niskotlačni plazma uređaj tip NANO LF-40 kHz, tt. Diener Electronic GmbH

► Kroz četiri procesa se može opisati djelovanje plazme na površini materijala:



► Čišćenje i „nagrivanje” površine

Uklanjanje organskog sloja s obrađene površine

→ rezultat: pucanje kovalentnih veza u polimernom lancu

► Aktivacija površine i modifikacija

Reakcija između kemijskih skupina površine supstrata i kemijskih čestica u plazmi

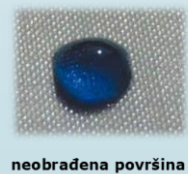
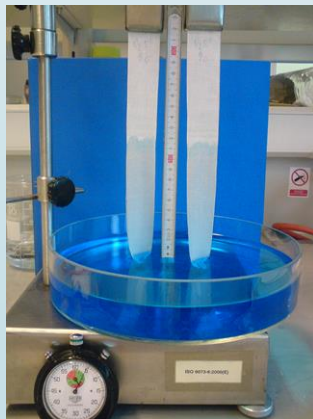
→ rezultat: nove funkcionalne skupine; poboljšanje kvasivosti površine tekstilnog materijala

► Polimerizacija

Nanošenje nanoslojeva različitih sredstava (fluorougljici, organosilikonski spojevi,...) na površinu tekstilnog materijala.

Primjena plazme u području tekstilstva

plin	svrha	materijal	svojstvo
O ₂	modifikacija polimera, oksidacija i modifikacija površine	pamuk, cel. regenerati, CLY,svila, PA, PE, PTFE, vuna, PES, PP, PAN	bojadisarska svojstva, hidrofilnost, bijeljenje, antistatička svojstva; smanjenje skupljanja usljed pustenja, sposobnost kvašenja i adhezija, povećanje polarnosti i površinske energije
H ₂	redukcija oksidiranog sloja, redukcijski efekt	vuna, PAN	smanjenje apsorpcije tvorbom C-C mreže na površini vune
N ₂	modifikacija površine	PES, vuna, PAN	poboljšavanje adhezije i apsorpcije bojila
Ar, He, Ne,	aktivacija i modifikacija površine, polimerizacija	PA, PAN, CV, CLY, vuna	povećanje dubine obojenja, poboljšanje otpornosti na gorenje i sorpcijskih svojstava, antimikrobna učinkovitost
N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ , SO ₂	aktivacija i modifikacija površine	PA, PE, PP, PET,PTFE, vuna, PAN	hidrofilnost (sposobnost kvašenja), smanjenje kuta kvašenja



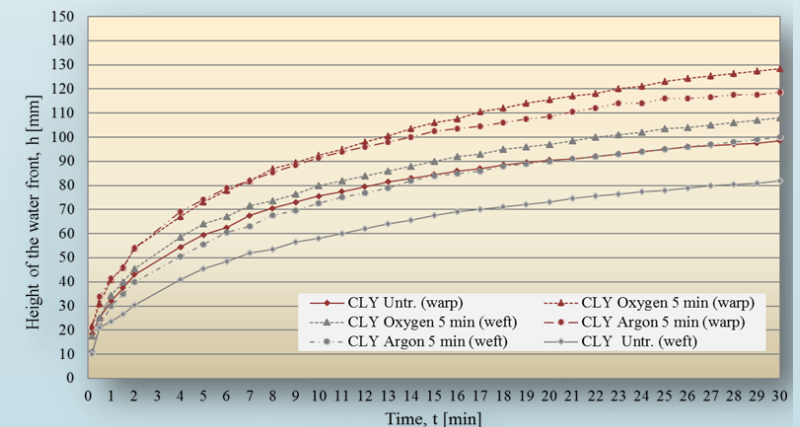
neobrađena površina



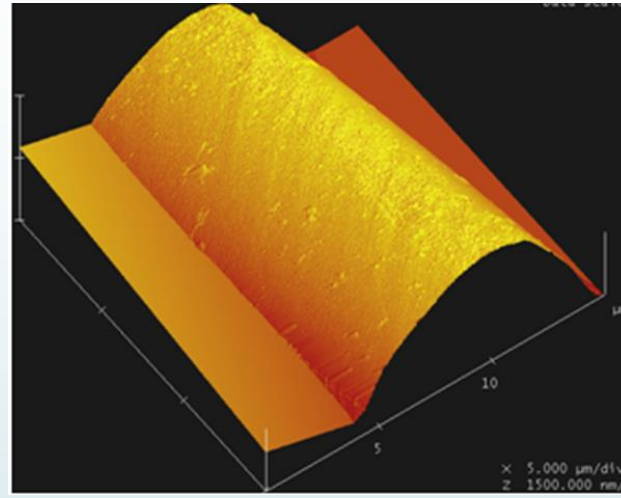
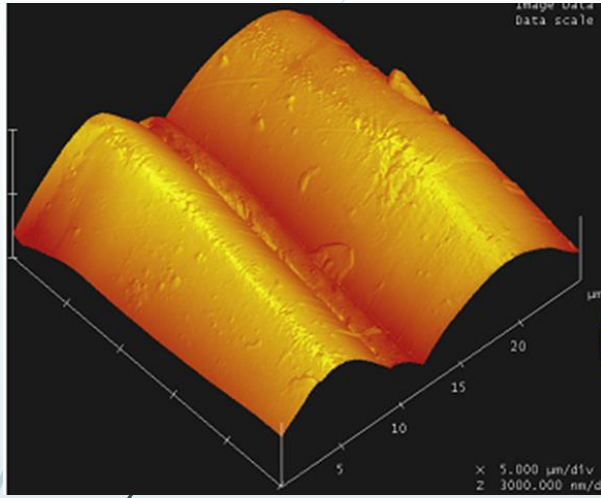
hidrofilna



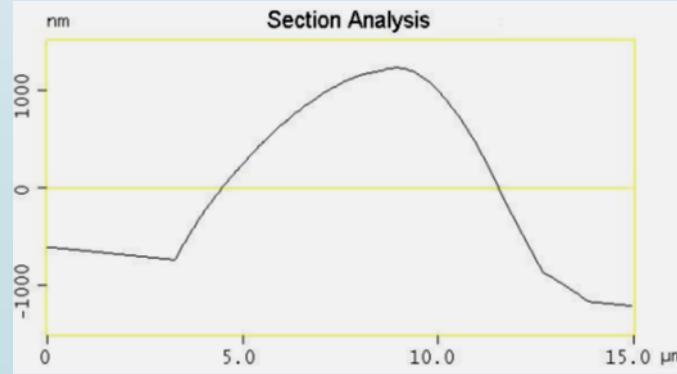
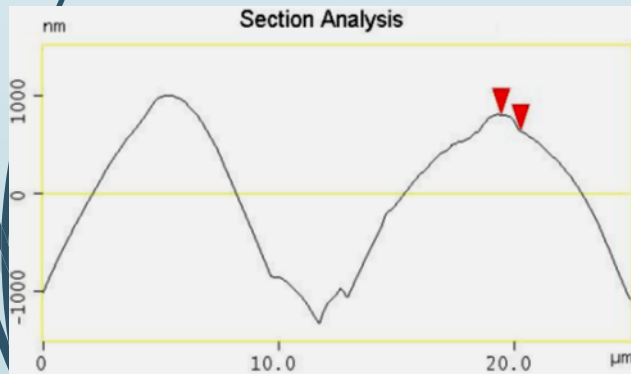
hidrofobna



Analiza površine i topografija vlakana - AFM mikroskopija



2D prikaz površine vlakna – neobrađena i kisikom obrađena površina



- Kisik je reaktivan plin i može uzrokovati promjene krajnjeg vanjskog površinskog sloja vlakna, što je u ovom istraživanju rezultiralo uklanjanjem površinskih nečistoća i dovelo do jetkanja površinskog sloja vlakna.
- Stvaranje radikala, kao kemijski aktivnih vrsta kisikove plazme, značajno je utjecalo na povećanje površinske kemijske aktivnosti vlakna.

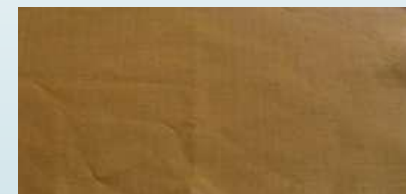
plin	svrha	materijal	svojstvo
hidrokarboni: etilen(C_2H_4), etan, acetilen, metan	polimerizacija i modifikacija površine	PES, vuna	hidrofobiranje, povećava se intenzitet obojenja
CF_4 (tetrafluormetan) SF_4 , SF_6 (sumporheksafluorid)	nagrizanje i modifikacija površine	PA, PP, PES, svila	hidrofobiranje, oleofobiranje, poboljšavanje bojadisanja, opip tkanine (mekši) i sjaj
fluorokarboni: C_2F_4 , C_2F_6	modifikacija površine i polimerizacija	pamuk, PES	hidrofobiranje
Si-organski reagensi, HMDSO (heksametil disiloksan), $SiCl_4$	polimerizacija	CV, PES, pamuk/PES, vuna	antistatička svojstva, poboljšavanje bojadisanja, UV zaštita, dimenzijska stabilnost



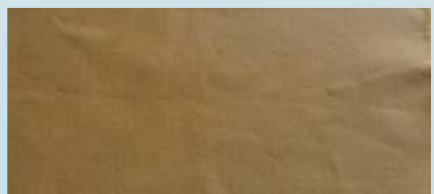
Vuna/nar – neobrađeni uzorak



Vuna/nar - O_2 300 W, 5 min



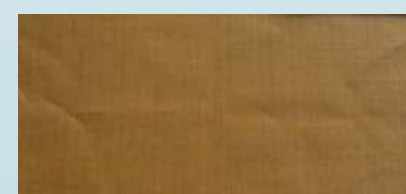
Vuna/nar - O_2 500 W, 2 min



Vuna/nar + metalne soli $KAl(SO_4)_2$ - neobrađeni uzorak



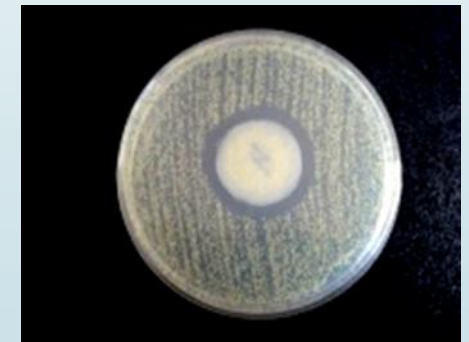
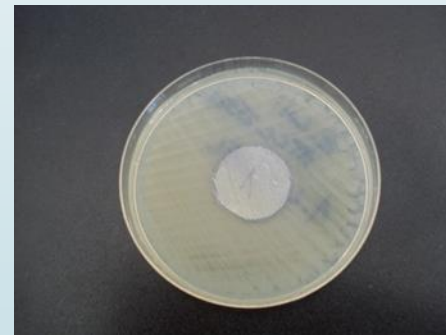
Vuna/nar O_2 500 W, 2 min + metalne soli $KAl(SO_4)_2$



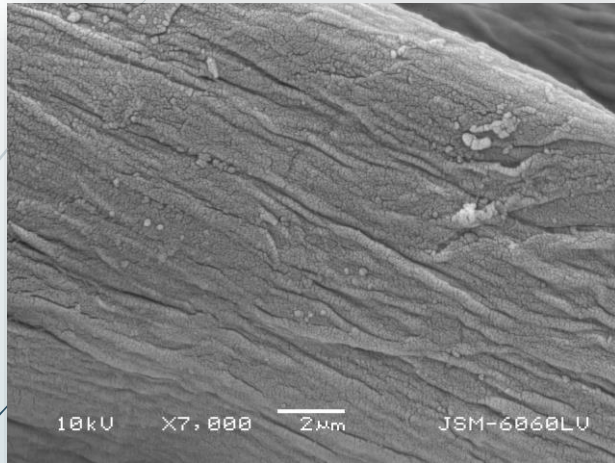
Vuna/nar O_2 500 W, 2 min + metalne soli $AgNO_3$

plin	svrha	materijal	svojstvo
fosfor uz monomere	polimerizacija	PAN, CV, pamuk	otpornost na gorenje
zrak	aktivacija i modifikacija površine	Vuna, PES	sposobnost bojadisanja, hidrofilnost, smanjenje površinskog otpora, sadržaj rel. vlage, električna vodljivost
vodena para	modifikacija površine	vuna, pamuk	hidrofilnost površine
monomeri (akrilonitrili akrilamid)	graftiranje površine i nagrizanje površine	PES	hidrofilnost, smanjenje površinskog otpora, povećana vodljivost

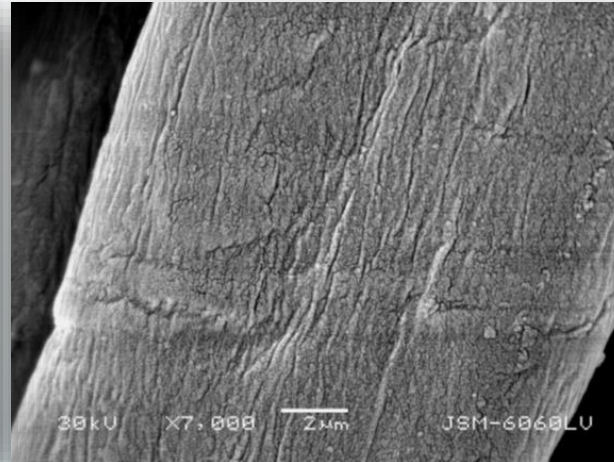
- Antimikrobna učinkovitost liocelnog pletiva predobrađenog Ar plazmom/AgNO₃ spram gram pozitivne bakterije Staphylococcus aureus: zona inhibicije je 5 mm, nema rasta bakterija ispod uzorka



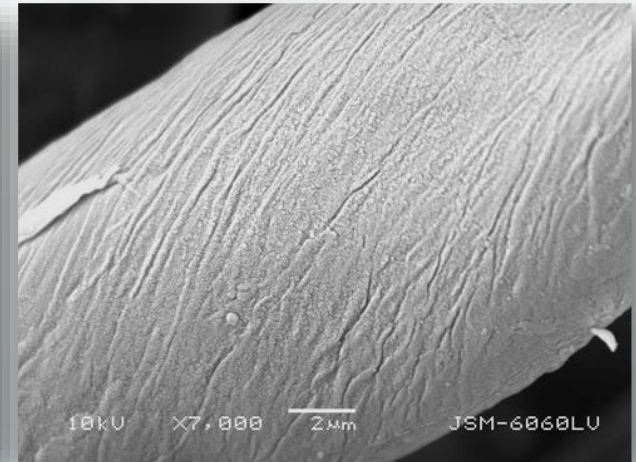
Mikromorfološka analiza površine - primjena SEM mikroskopije



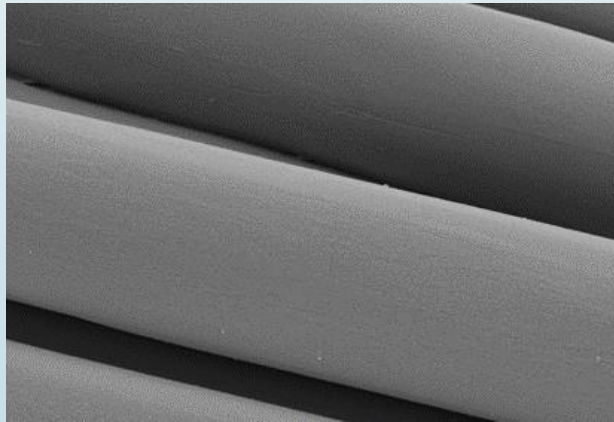
Neobrađeni pamuk, 7000x



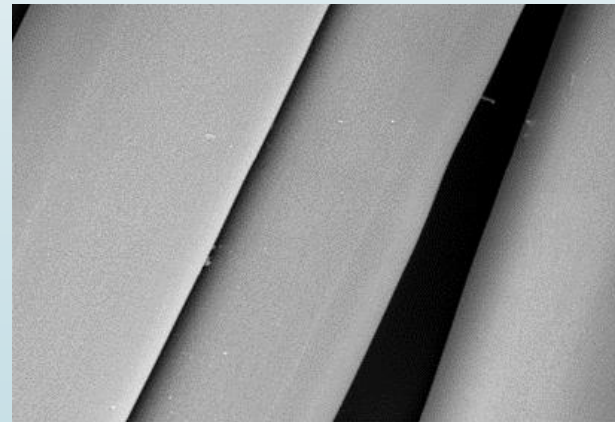
Pamuk O₂, 7000x



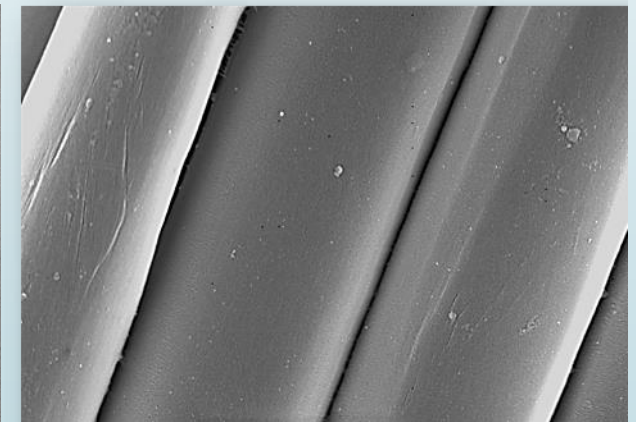
Pamuk Ar, 7000x



Neobrađeni liocel, 10kx



Liocel O₂, 10kx



Liocel Ar, 4000x



Zaključak

- Primjena plazme u mikro-nano svijetu ima pozitivan utjecaj na tekstilnu industriju. Ova tehnologija otvara mogućnosti za inovacije i unapređenja u proizvodnji tekstila, pružajući funkcionalnije i učinkovitije tkanine.
- Obrada plazmom na nano razini omogućava bolje iscrpljenje i postojanost obojenja, kvalitetu otiska, te stvara aktivne centre za privlačenje drugih kemijskih spojeva. Značajna primjena plazme bilježi se u postizanju/poboljšanju hidrofobnosti ili hidrofilnosti površine vlakna.
- Nanočestice i nanostrukture sintetizirane pomoću plazme mogu se inkorporirati u tkanine u svrhu postizanja poboljšanih svojstava - antibakterijskih ili ciljanih uporabnih svojstava.
- Sinergija plazme i tekstilne industrije obećava daljnji razvoj i napredak u proizvodnji tekstila s visokim performansama i funkcionalnostima bez štetnog utjecaja na okoliš.

Hvala Vam na pažnji !

