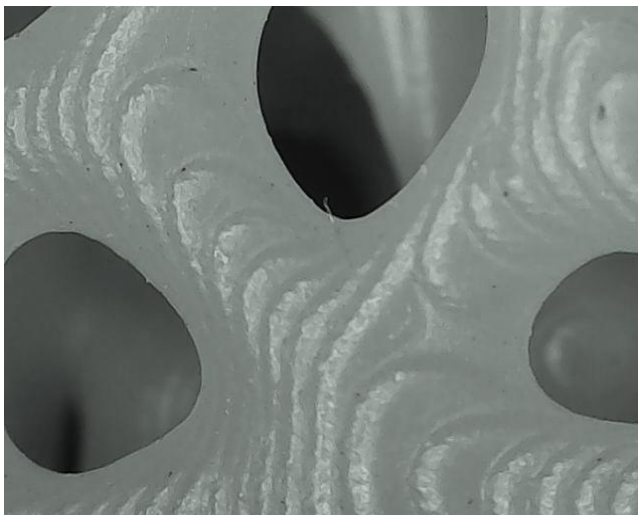


ADITIVNE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

- Brza izrada sloj po sloj



- ISO/ASTM 52900 podela AM prema procesu:
 1. Fotopolimerizacija u kadi (Vat photopolymerization) - tečni fotopolimer se očvrćava svetlošću
 2. Ekstrudiranje materijala (Material extrusion) - rastopljeni termoplast se deponuje kroz zagrejanu mlaznicu
 3. Spajanje praškastog materijala (Powder bed fusion) - čestice praha se spajaju pomoću izvora visoke energije
 4. Ubrizgavanje materijala (Material jetting) -kapljice tečnog fotoosetljivog sredstva za topljenje se talože na sloj praha i očvršćavaju svetlošću
 5. Ubrizgavanje veziva (Binder jetting) -kapljice tečnog vezivnog sredstva se talože na sloj granulisanog materijala, koji se kasnije zajedno sinteruju
 6. Direktno taloženje pod dejstvom izvora energije (Directed energy deposition) -rastopljeni materijal se istovremeno deponuje i spaja
 7. Laminacija listova/folija (Sheet lamination) - pojedinačni listovi materijala se seku u oblik i laminiraju zajedno

Tri glavne grupe mikro AM:

1. **skalabilne mikroAM** tehnologije koje se već koriste u makro domenu, ali mogu da ostvare i mikroskopski domen dimenzija.

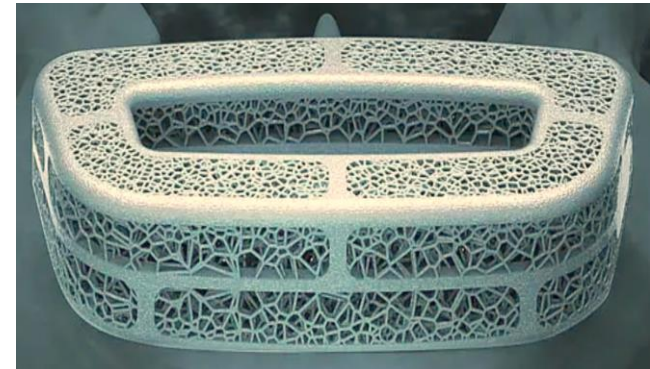
- **mikrostereolitografija μ SLA**
- **mikro-lasersko sinterovanje μ SLS**
- izrada taloženjem materijala (Fused Deposition Modeling - FDM) i
- proizvodnju laminarnih predmeta (Laminated object manufacturing - LOM)

2. **mikroAM tehnologije 3D direktnog pisanja (3DDW – 3D direct writing)** koji su razvijene samo za mikroskopsko područje

- lasersko hemijskog taloženja (LCWD)
- fokusiranog jonskog snopa (FIB)

3. **hibridne mikroAM**

- modeliranje taloženjem oblika SDM (Shape deposition modeling) kao UAM
- **elektrohemijsko taloženje EFAB (Electrochemical fabrication)**



Ortopedski implant

- Disk između pršljenova
- Napravljen EBM (Electron Beam Melting) metodom

<https://arch-medical.com/capabilities/additive-manufacturing.html>

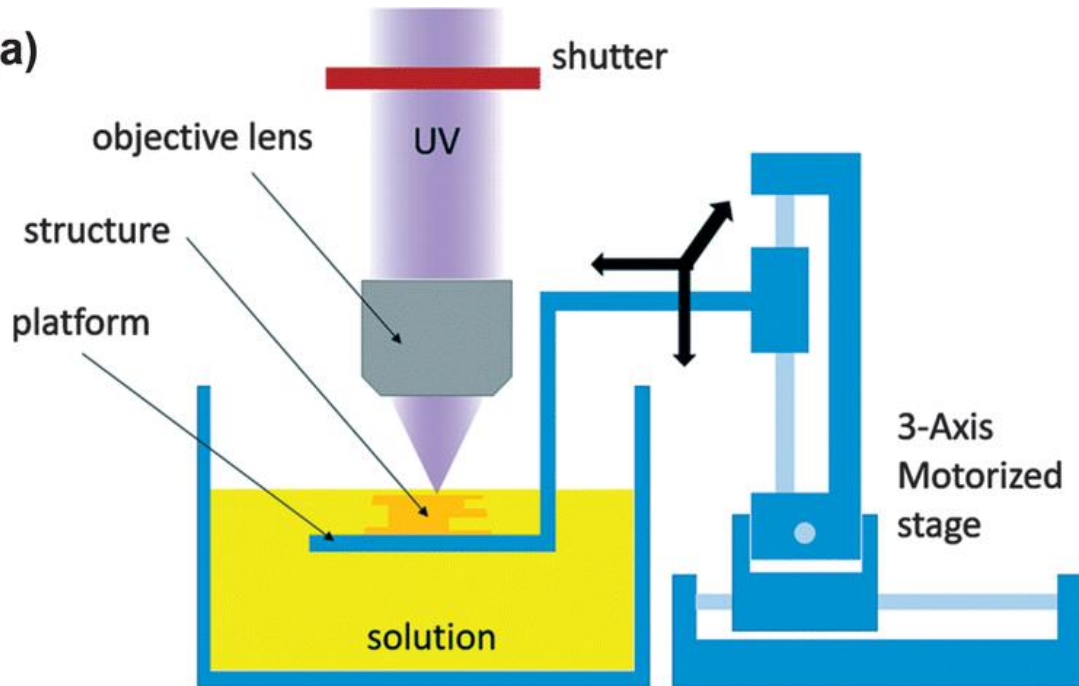
MIKRO OBRADA I KARAKTERIZACIJA – MIKRO ADITIVNA OBRADA- 3

MIKRO AM razvijaju se kao laboratorijske metode i koriste za prototipove

- **projektna mikro stereolitografija (projection microstereolithography -P μ SL)**
- kontinualna izrada sa tečnim interfejsom (continuous liquid interface production -CLIP)
- **dvofotonska polimerizacija (two-photon polymerization -TPP)**
- elektrohidrodinamička jet štampa (electrohydrodynamic EHD jet printing)
- **izrada metala litografijom (Lithography-based Metal Manufacturing -LMM)**

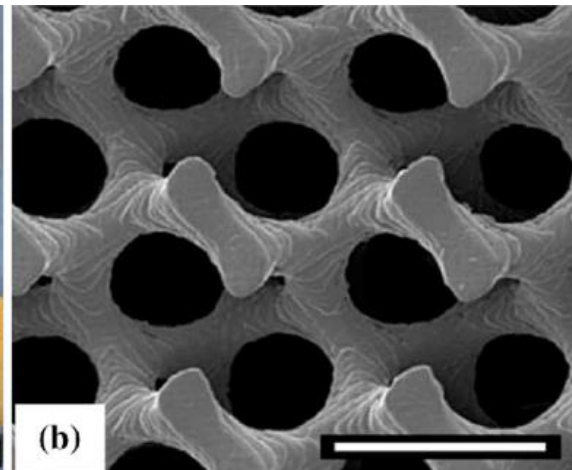
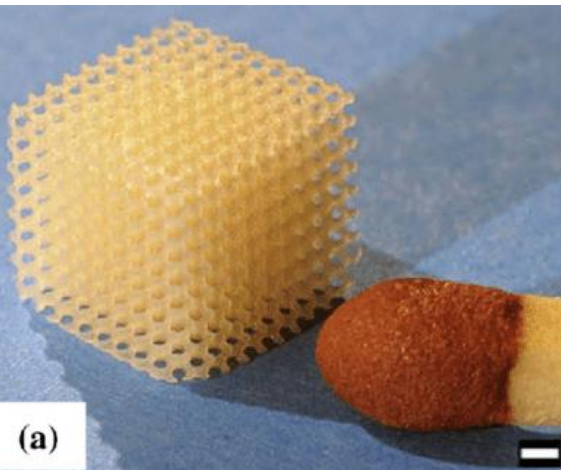
Tehnologija	min. debljina sloja [μ m]	min. rezolucija [μ m]	Printer
μ SLS	15	1	3D MicroPrint, DMP
LMM	10	35	Incus Hammer, Lab35
P μ SL	5	2	BMF, microArch
	5	2	Nano, Dimension Tera
TPP	0.6	0.2	Microlight3D, μ FAB-3D
	0.2	0.3	FemtikaLaser, Nanofactory
	0.17	0.01	UpNano, NanoOne
	0.1	0.2	Nanoscribe, QuantumX
EFAB	nepoznato	<1	Exaddon Ceres

(a)



Mikrostereolitografija μ SL

- tehnika koja ima rezoluciju za red veličine bolju od konvencionalne SL od koje je evoluirala
- visina sloja može biti od 5–10 μ m
- korišćenje X-Y-Z CNC radnog stola visoke rezolucije sa laserskim zrakom koji je statičan i precizno fokusiran na površinu smole

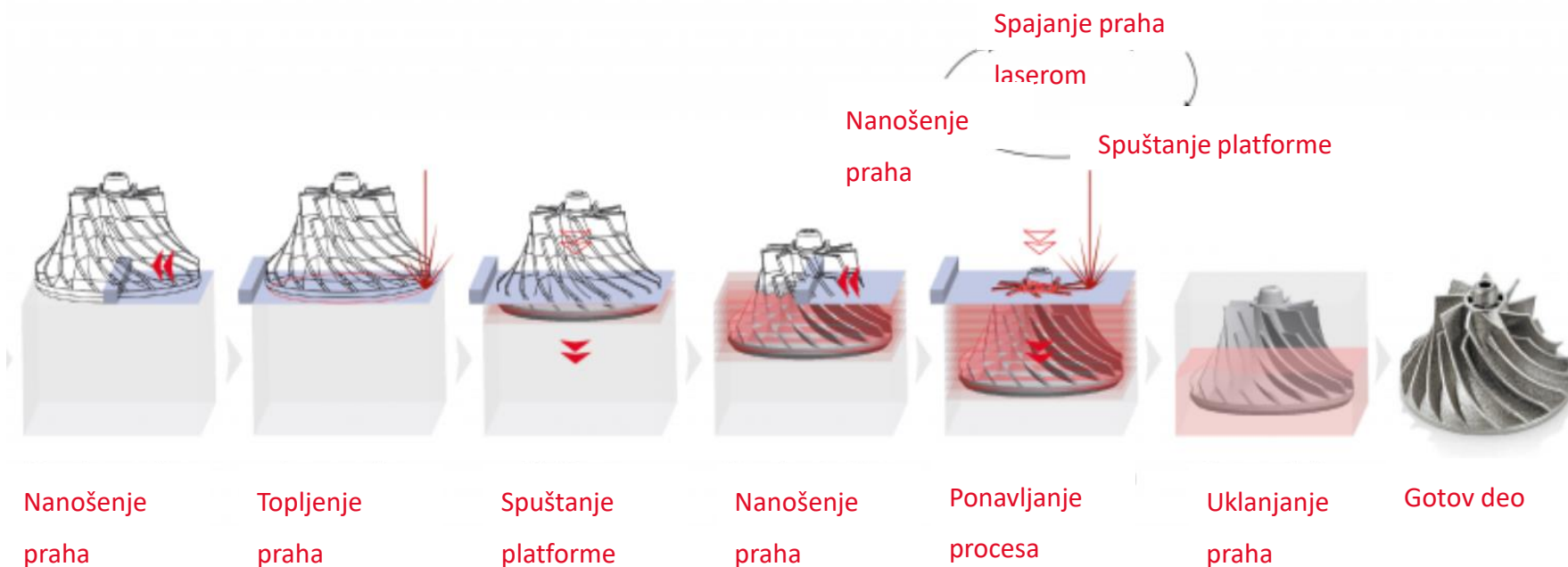
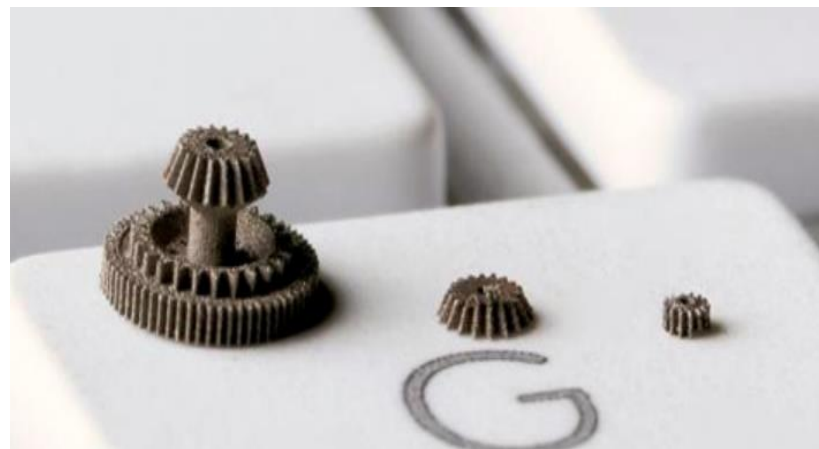


Medicinske aplikacije

- 3D platforme za obnavljanje tkiva
- minijaturne mehaničke komponente
- 3D mikrostrukture slobodnog oblika od biorazgradivih i biokompatibilnih materijala

Mikro selektivno lasersko sinterovanje μ SLS

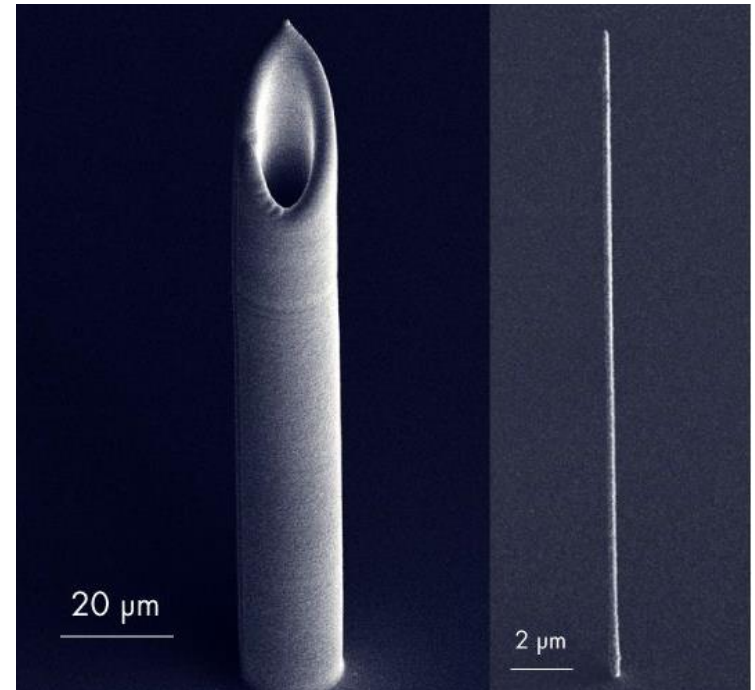
- μ SLS se najčešće odnosi na 3D štampanje metalnih delova sa rezolucijom manjom od $5\ \mu\text{m}$
- koristi laserski snop prečnika $\leq 30\ \mu\text{m}$ za očvršćavanje metalnog praha veličine čestica $\leq 5\ \mu\text{m}$
- nema potrebe za potporom



Elektrohemijsko taloženje EFAB

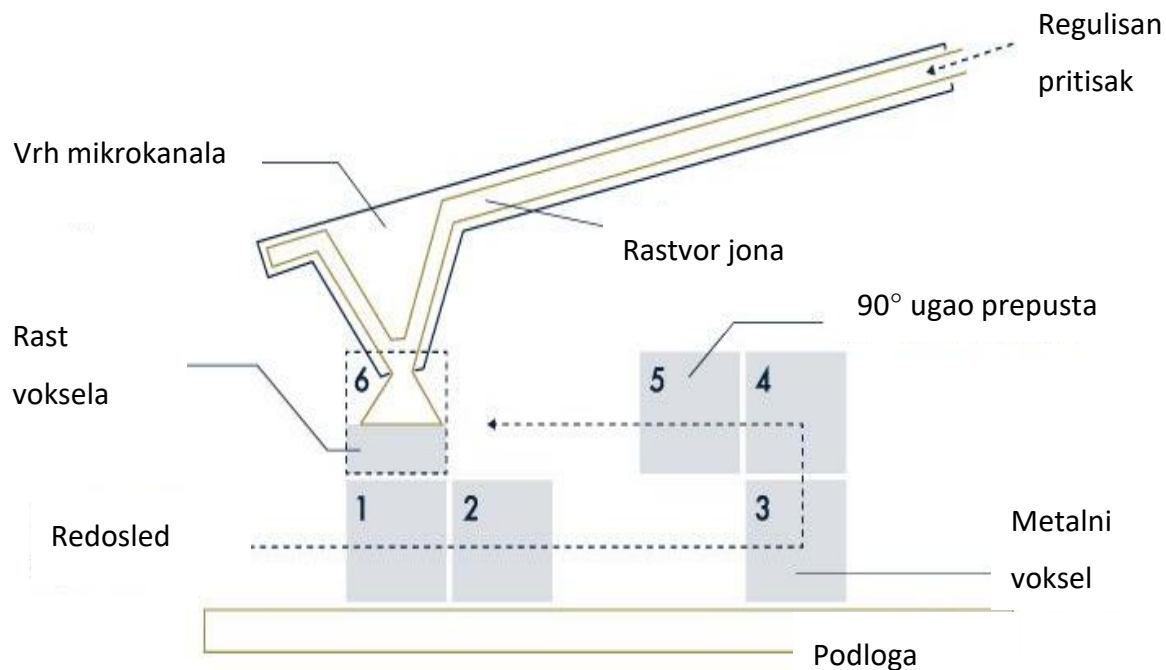
- Visoko precizna tehnologija 3D štampe metala, ne zahteva nikakvu naknadnu ili završnu obradu
- Jednostavne i kompleksne strukture od $1\mu\text{m}$ do $1000\mu\text{m}$, a koje se prema trenutnom stanju stvari ne mogu generisati niti jednom drugom metodom
- Mehaničke karakteristike ovako 3D štampanih metalnih komponenti su zadovoljavajuće
- Primena: MEMS, biomedicina, fleksibilnu elektroniku, a izrađeni primeri su mikro-igle, mlaznice, mikro-rešetke, zavojnice...

Igla i stubić



Princip rada:

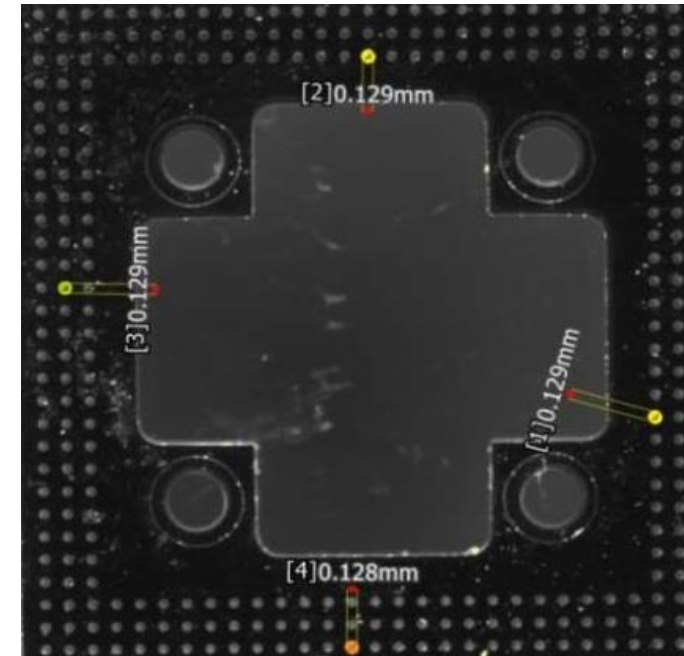
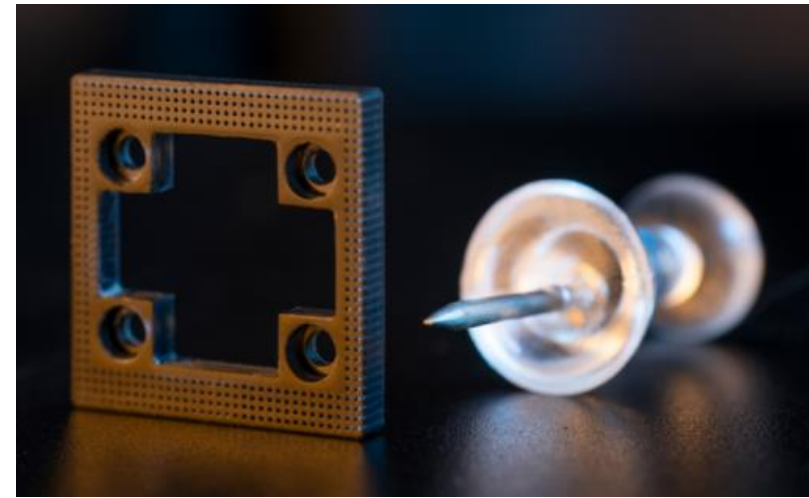
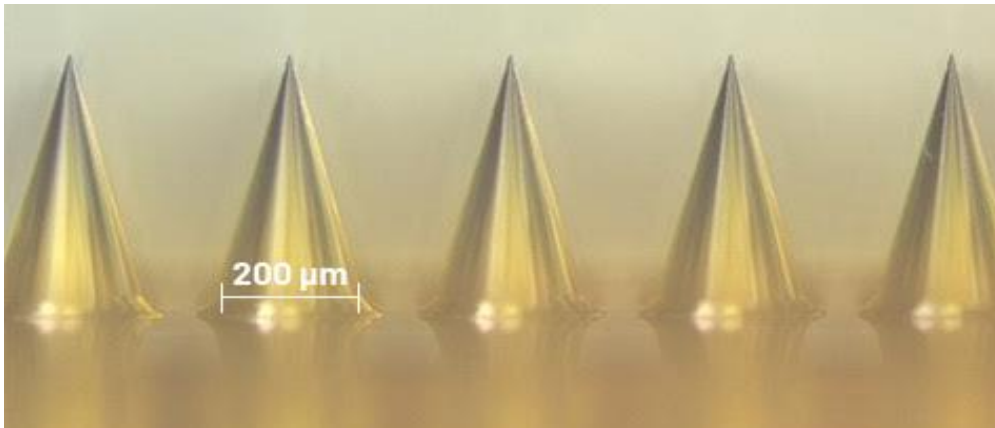
- Mlaznica za štampanje koja je potopljena u elektrolit. Na vrhu mlaznice se tečnost ispušta na provodnu podlogu od bakra, zlata, oksida indijuma i kalaja (ITO) ili PEDOT-a (polietilendioksidofen)



- Regulacijom pritiska vazduha precizno se potiskuje tečnost sa jonima metala kroz mikrokanal na površinu za štampu
- Protok tečnosti je reda veličine femtolitara u sekundi
- Rastvoreni metalni joni se talože u čvrste metalne atome koji grupisani čine voksele, kao gradivne komponente 3D mikrostruktura
- Optička povratna sprega upravlja u realnom vremenu na sobnoj temperaturi

Projektna mikrostereolitografija P μ SL

- Brža, jeftinija i preciznija je od μ SLA
- Koristi UV svetlo od projektora umesto lasera
- Velike brzine u domenu mikro veličina, vrhunska rezolucija do 2 μ m uz toleranciju od +/- 10 μ m
- Materijali: hidrogelovi, kompozitne smole koje sadrže keramičke ili metalne čestice, fleksibilni ili prozirni polimere i biomaterijali
- Primena: mikro-fluidika, inženjerstvo tkiva, biomedicina, mikro-optika, mikro-elektronika i mikro-uređaji



Princip rada:

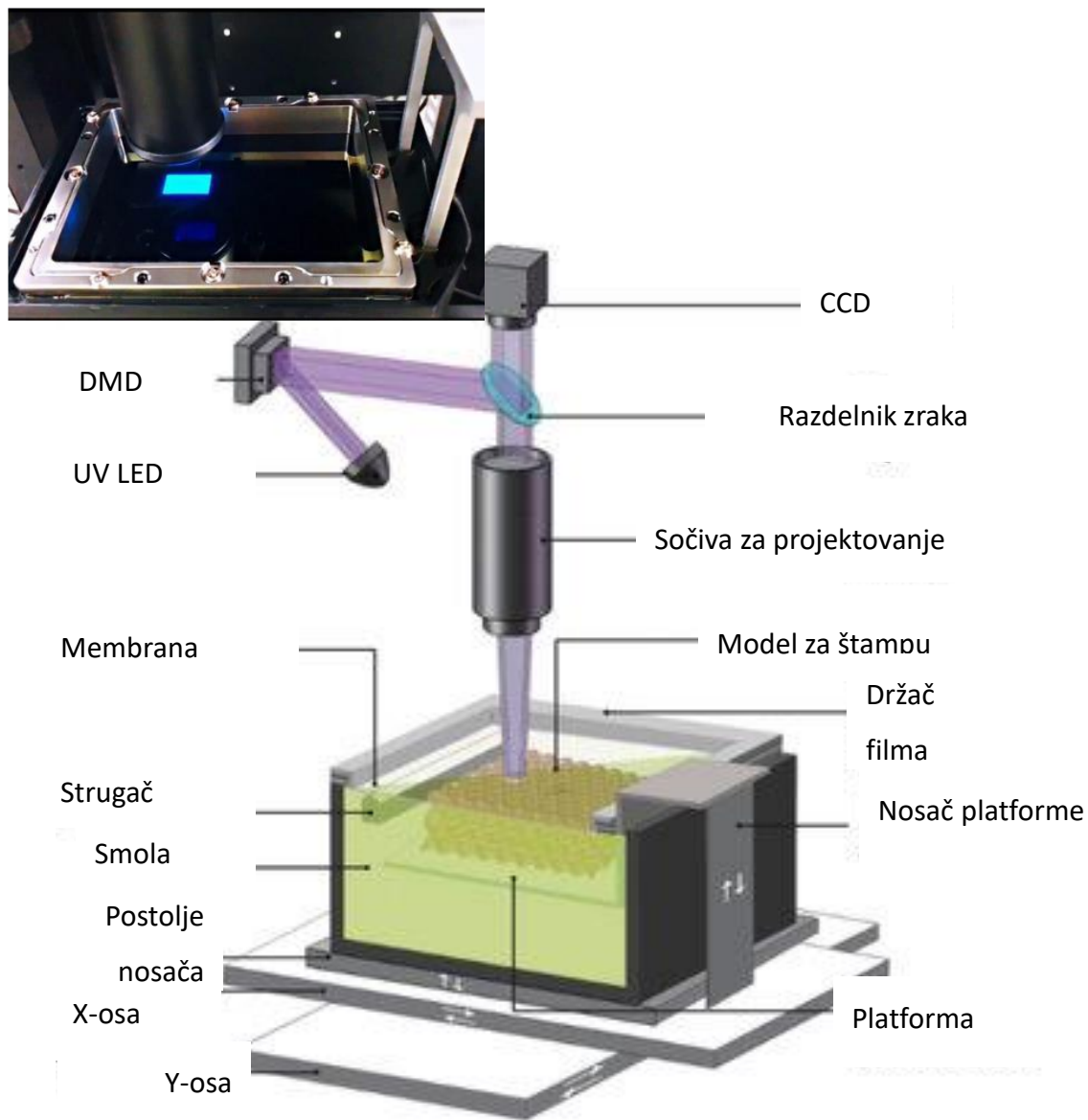
Smer štampanja kao kod SLA - odozgo na dole

DLP tehnologija očvršćavanja - bljesak UV svetla izaziva brzu fotopolimerizaciju čitavog sloja smole

Kontrola projekcionog sočiva - rezolucija od nekoliko μm ili stotina nm

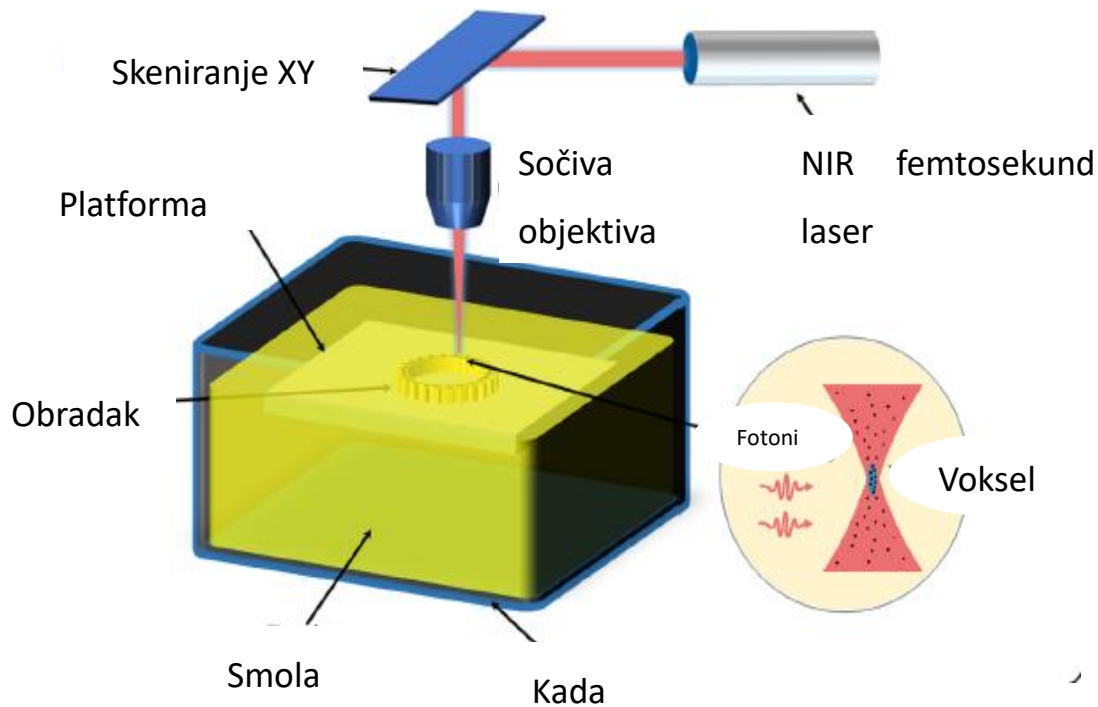
Ravnanje neočvrсле smole unutar posude zarad uklanjanja mehurića

Tanka plastična membrana koja se rasteže, umesto ravnjača kod koga postoji velika mogućnost da uništi novonastali sloj



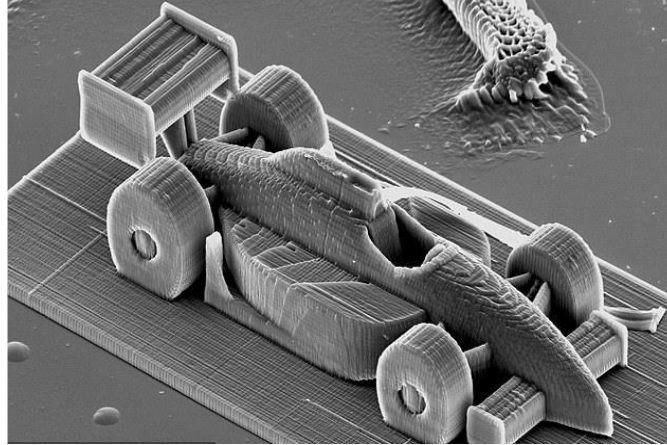
Dvofotonska polimerizacija TPP

- Primena: medicinski implanti, mikro-optika, mikro-fluidika, mikro-robotika i metamaterijali
- Proces je isuviše spor i vrlo skup
- Rezolucija je submikronska i TPP se ubraja u mikro/nano-AM

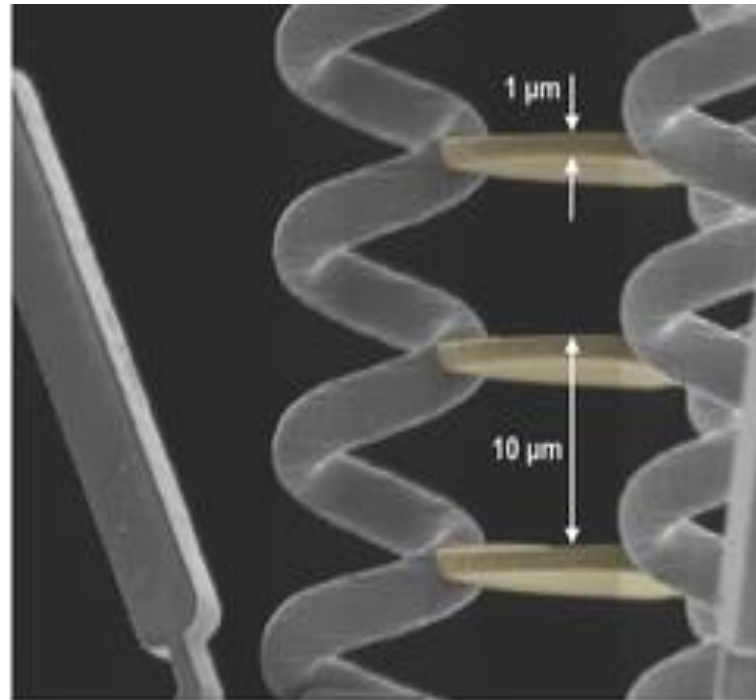
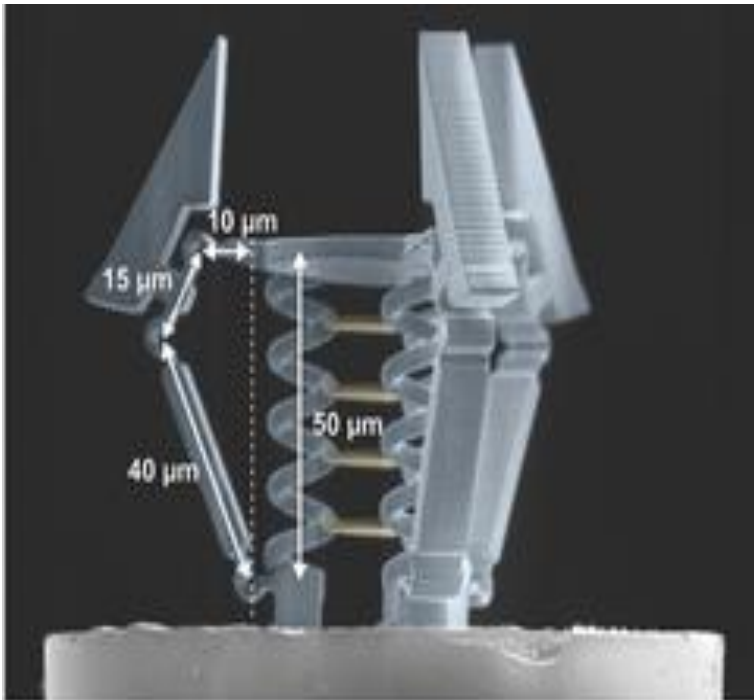


- Koristi se pulsni IR femtosekund laser za direktno pisanja po 3D prostoru kade u kome se nalazi fotoosetljiva smola
- Voksel istovremeno osvetljen sa dva fotona svetlosne energije, apsorbuje dovoljno toplote (termalna energija IR) za očvršćavanja smola na tom mestu
- Laserska tačka je prečnika od 340nm do 1600nm

U poređenju sa DLPili sa SLA tehnikom gde je ravanska rezolucija desetine μm , TPP može ostvariti rezoluciju od $0.17\mu\text{m}$.



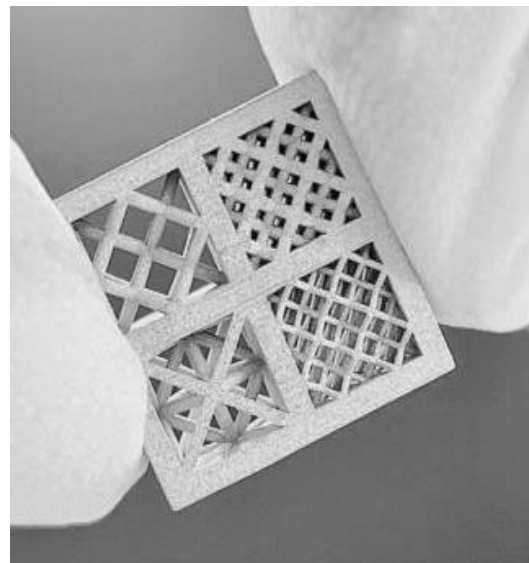
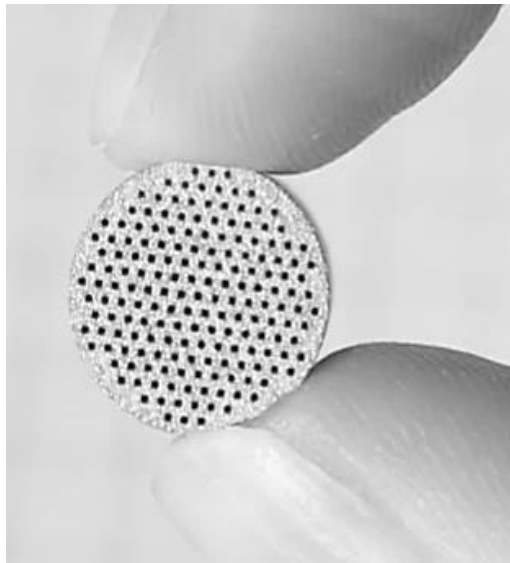
Mini bolid Formule1 ima 0.28mm



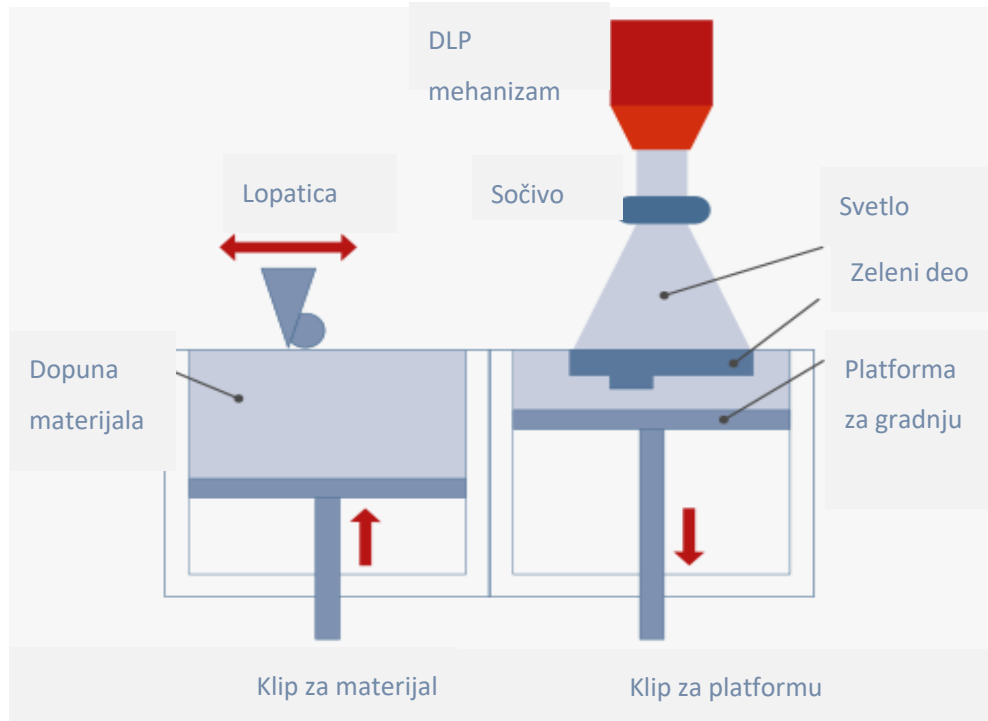
Mikro-hvatač ima opružni sistem koji se aktivira aksijalnom silom i na taj način polužnim sistemom pomera prste hvatača

Litografska izrada metala LMM

- velikom preciznošću se izrađuju minijaturne i filigranske komponente: hirurški pribori, mikro-mehanički delovi i alati od čelika, volframa, mesinga, bakra, srebra, zlata
- koristi princip fotopolimerizacije za metalni prah (do 60% ukupne zapremine) homogeno ubačen u smolu
- gustina metala u gotovom delu ide i preko 98%
- skupljanje zavisi od materijala



MIKRO OBRADA I KARAKTERIZACIJA – MIKRO ADITIVNA OBRADA- 13



- zeleni 3D štampani deo - selektivno očvrsla smola plavim svetlom po principu DLP metode
- braon 3D štampani deo – uklanjanje smole zagrevanjem na oko 50°C
- 3D štampani deo -sinterovanjem u peći dobija se konačan oblik, ali smanjen i do 20% u odnosu na zeleni 3D štampani deo

