

ÖZET
BİR MİKROİĞNE ÜRETİM YÖNTEMİ

Buluş, fotolitografi ve kuru aşındırma teknikleri sayesinde istenilen geometri,
5 taban genişliği, yükseklik, yükseklik/tabana genişliği oranı, uç açısı ve iğne
sayısına sahip katı mikroiğne üretim yöntemi (100) ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. İstenilen geometri, taban genişliği, yükseklik, yükseklik/tabın genişliği oranı, uç açısı ve iğne sayısına sahip katı mikroiğne üretilmesini sağlayan;
5 -bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak üretilmek istenen mikroiğnenin şekil ve boyutlarına ilişkin bir dizayn yapılması (101),
-dizayn edilen geometrik şekillerin maskeler üzerine yazdırılıp, fotolitografi ile yazım işleminin tamamlanması (102),
-maske üzerindeki geometrik şekillerin silikon kaplı plaka üzerine
10 aktarılması (103),
-silikon plakanın küçük boyutlara kesilmesi (104),
-kesilen silikon plakalardaki geometrik şekiller doğrultusunda kuru aşındırma yapılması ile mikroiğne elde edilmesi (105) ve
-elde edilen mikroiğnelerin kaplanması (106) adımları ile karakterize edilen
15 bir yöntem (100).
2. Bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak üretilmek istenen mikroiğnenin şekil ve boyutlarına ilişkin bir dizayn yapılması (101) adımında, AutoCAD, Layout Editor, Klayout ve L-Edit şeklindeki CAD
20 tabanlı tasarım programları kullanılması ile karakterize edilen İstem 1'deki gibi bir yöntem (100).
3. Bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak üretilmek istenen mikroiğnenin şekil ve boyutlarına ilişkin bir dizayn yapılması (101) adımında, kullanılan silikon plaka kalınlığının 500-1000 µm olarak
25 belirlenmesi ile karakterize edilen İstem 1 veya 2'deki gibi bir yöntem (100).
4. Bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak üretilmek istenen mikroiğnenin şekil ve boyutlarına ilişkin bir dizayn yapılması (101) adımında, CAD tabanlı tasarım programları üretilmek istenen mikroiğneye
30

- ilişkin konik, piramit, tetrahedron, yıldız ve polihedron yapılı geometrik şekil, 100-500 μm aralığında taban genişliği, 50-800 μm aralığında yükseklik, 1-8 aralığında yükseklik/tabana genişliği oranı, $<90^\circ$ uç açısı ve 50-2000 iğne/ cm^2 aralığında iğne sayısı parametreleri belirlenmesi ile karakterize edilen yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi bir yöntem (100).
- 5
5. Dizayn edilen geometrik şekillerin maskeler üzerine yazdırılıp, fotolitografi ile yazım işleminin tamamlanması (102) adımı, tasarım programlarında çizimi gerçekleştirilen mikroiğne şekillerinin krom yapılı maskeler ya da asetat kağıt üzerine lazer maske yazdırıcı kullanılarak yazılması ile karakterize edilen İstem 1'deki gibi bir yöntem (100).
- 10
6. Dizayn edilen geometrik şekillerin maskeler üzerine yazdırılıp, fotolitografi ile yazım işleminin tamamlanması (102) adımı, tasarım programlarında çizimi gerçekleştirilen mikroiğne şekillerinin direkt-yazdırma metodu kullanılarak silikon tabaka üzerine herhangi bir maske kullanılmadan yazdırılması ile karakterize edilen İstem 1'deki gibi bir yöntem (100).
- 15
7. Dizayn edilen geometrik şekillerin maskeler üzerine yazdırılıp, fotolitografi ile yazım işleminin tamamlanması (102) adımı, yazım işlemi sırasında fotorezist dayanıklılığını artırmak için XeF_2 'ye seçiciliği olmayan ya da çok düşük olan silikon nitrat (Si_3N_4) kaplama yapıp, fotolitografi ile yazımın tamamlanması ile karakterize edilen İstem 5 veya 6'dan herhangi birindeki gibi bir yöntem (100).
- 20
8. Dizayn edilen geometrik şekillerin maskeler üzerine yazdırılıp, fotolitografi ile yazım işleminin tamamlanması (102) adımı, Si_3N_4 yerine metaller, metaloksitler ve metal nitrit şeklindeki materyallerin kullanılması ile karakterize edilen İstem 7'deki gibi bir yöntem (100).
- 25
- 30

- 5 9. Maske üzerindeki geometrik şekillerin silikon kaplı plaka üzerine aktarılması (103) adımımda, maske üzerindeki geometrik şekillerin, UV maske baskısı yapmak için üzerine 1-2 μm kalınlıkta fotorezist ile kaplı silikon yapıllı plaka üzerine aktarılması ile karakterize edilen İstem 1'deki gibi bir yöntem (100).
- 10 10. Maske üzerindeki geometrik şekillerin silikon kaplı plaka üzerine aktarılması (103) adımımda, fotorezist olarak AZ tabanlı ya da SU-8 tabanlı materyaller kullanılması ile karakterize edilen İstem 9'daki gibi bir yöntem (100).
- 15 11. Maske üzerindeki geometrik şekillerin silikon kaplı plaka üzerine aktarılması (103) adımımda, kullanılan fotorezist modeline göre 1-100 μm arasında kaplamanın silikon plaka üzerine yapılması ile karakterize edilen İstem 10'daki gibi bir yöntem (100).
- 20 12. Silikon plakanın küçük boyutlara kesilmesi (104) adımımda, üzerinde istenilen geometrik yapıların olduğu silikon plakanın mikrotestre ile 0,5-10 cm^2 'lik kare, dikdörtgen, yuvarlak, üçgen veya çokgen şekillerden herhangi birine kesilmesi ile karakterize edilen İstem 1'deki gibi bir yöntem (100).
- 25 13. Kesilen silikon plakalardaki geometrik şekiller doğrultusunda kuru aşındırma yapılması ile mikroigne elde edilmesi (105) adımımda, 1 cm^2 'lik karelere kesilen her bir silikon plakanın XeF_2 gazı ile izotropik olarak kuru aşındırmaya maruz bırakılması ve aşındırma sonucunda tasarımı yapılan mikroignelerin elde edilmesi ile karakterize edilen İstem 1'deki gibi bir yöntem (100).
- 30 14. Kesilen silikon plakalardaki geometrik şekiller doğrultusunda kuru aşındırma yapılması ile mikroigne elde edilmesi (105) adımımda, aşındırma sırasında XeF_2 gazının basıncının 1-4 m Torr ve aşındırma süresinin 10-900

s olacak şekilde optimize edilmesi ile karakterize edilen İstem 13'teki gibi bir yöntem (100).

- 5 **15.** Elde edilen mikroiğnelerin kaplanması (106) adımımda, mikroiğnelerin mekanik strese karşı sağlamlıklarını artırmak ve yüzey pürüzsüzlüğünü gidermek için krom, titanyum, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır, nikel, zirkon ve molibden şeklindeki metaller ile ya da seramik şeklindeki ne metalik olan ne de organik olan materyallerle kaplanması ile karakterize edilen İstem 1'deki gibi bir yöntem (100).

10

15

20

25

30

TARİFNAME

BİR MİKROİĞNE ÜRETİM YÖNTEMİ

Teknik Alan

5

Buluş, fotolitografi ve kuru aşındırma teknikleri sayesinde istenilen geometri, taban genişliği, yükseklik, yükseklik/tabana genişliği oranı, uç açısı ve iğne sayısına sahip katı mikroigne üretim yöntemi ile ilgilidir.

10 Önceki Teknik

Transdermal ilaç dağıtımı (TİD), bir ilaç bileşeninin cildin farklı katmanları boyunca yayılması ve terapötik bir sonuç elde edilmesi için ilacın dolaşıma katılmasının sağlandığı teknolojik bir yaklaşımdır. Hipodermik iğneler kullanılarak uygulanan enjeksiyon, TDD için “altın standart” olmasına rağmen, mikroigne bazlı TİD, ilaç bileşenlerinin mikron boyutlu iğneler yoluyla kan dolaşımına verildiği yeni bir teknolojidir. Mikroignelerin, stratum corneum'u delerek ilaç geçirgenliğini büyük ölçüde arttırdığı gösterilmiştir. Hipodermik iğnelere göre enjeksiyon bölgesinde daha hızlı iyileşme sağlarken, büyük moleküllerin hastaya ağrı oluşturmada kolayca uygulanabilmesi nedeniyle üretimleri için çalışmalar hızla artmaktadır. Günümüze kadar, çoğunlukla silikon ve metal olmak üzere farklı materyaller kullanılarak çok sayıda mikroigne tabanlı platformlar üretilmiştir. Üretim aşaması olarak kullanılan kuru veya ıslak aşındırma, lazer ablasyonu, fotolitografi ve 3B yazıcı ile baskı gibi tekniklerin bu platformların tasarlanmasında oldukça etkili olduğu gösterilmiştir. Mikroigneler bu yöntemlerin kullanılmasıyla 150-1500 µm aralığında yüksekliğe ve 50-250 µm aralığında genişliğe sahip olacak şekilde üretilebilmekte olup bu değerler arasında istenilen boyutlarda üretim gerçekleştirmek sınırlıdır.

30 Bu sebeple konik, piramit, tetrahedron ve yıldız yapıdaki geometrilerden herhangi birine sahip, taban genişliği, yüksekliği, yükseklik/tabana genişliği oranı, uç açısı

ve iğne sayısı gibi parametrelerin ayarlanabildiği bir katı mikroiğne üretim yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır.

5 Tekniğin bilinen durumunda yer alan US6551849 sayılı Birleşik Devletler patent dokümanında bir mikroiğne üretim yönteminden bahsedilmektedir.

10 Tekniğin bilinen durumunda yer alan US2018161050 sayılı Birleşik Devletler patent dokümanında istenen bir tepkiyi üretmek için vücut içindeki hedeflere malzeme veya uyaran vermek üzere kullanılan bir cihazdan bahsedilmektedir.

Buluşun Kısa Açıklaması

15 Bu buluşun amacı, fotolitografi ve kuru aşındırma teknikleri sayesinde istenilen geometri, taban genişliği, yükseklik, yükseklik/tabana genişliği oranı, uç açısı ve iğne sayısına sahip katı mikroiğne üretim yöntemi gerçekleştirmektir.

20 Bu buluşun bir başka amacı, katı mikroiğne üretim prosesinin optimize edilerek daha kısa sürede mikroiğne elde edilmesini sağlayan bir yöntem gerçekleştirmektir.

25 Bu buluşun başka bir amacı, mikroiğnelerin üzerine kaplanan biyouyumlu metaller ile mikroiğne pürüzsüzlüğünün giderildiği ve mekanik dayanımın artırıldığı bir yöntem gerçekleştirmektir.

30 Bu buluşun bir diğer amacı, mikroiğnelerin daha ekonomik ve tekrar kullanılabilir olacak şekilde üretilmesini sağlayan bir yöntem gerçekleştirmektedir.

Buluşun Ayrıntılı Açıklaması

35 Bu buluşun amacına ulaşmak için gerçekleştirilen “Bir Mikroiğne Üretim Yöntemi” ekli şekillerde gösterilmiş olup, bu şekillerden;

Şekil 1. Buluş konusu yöntemle ait akış şemasıdır.

Şekil 2. Buluş konusu yöntem ile üretilen mikroıǵnelerin bilgisayar tabanlı tasarım programlarındaki çizimlerine ait bir görünümüdür.

5 **Şekil 3.** (a) konik, (b) piramit, (c) yıldız ve (d) tetrahedron mikroıǵneler için dizayn edilen fotorezist büyüklüğüne göre ortalama yükseklik grafikleridir. (X eksenindeki değerler (200, 300, 400 ve 500 μm), prosesin başlangıcındaki fotorezistin çapını gösterirken, x eksenindeki diğer değerler (100 ve 200 μm) mikroıǵnelerin her biri arasındaki mesafedir.)

10 **Şekil 4.** Kaplama sonrası mikroıǵnelerin taramalı elektron mikroskobu (sol) ve üç boyutlu lazer tarayıcı mikroskobu (sağ) ile yapılan analizlere ait bir grafiklerdir.

Şekil 5. a) kaplanmamış, b) titanyum kaplanmış ve c) krom kaplanmış mikroıǵnelerin tarayıcı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı X-ışını analiz sonuçları gösterilmektedir.

15 **Şekil 6.** a) kaplanmamış, b) titanyum kaplanmış ve c) krom kaplanmış mikroıǵnelerin mekanik dayanıklılık analizleri gösterilmektedir.

Şekil 7. Mikroıǵnelerin tavuk derisi üzerinde açtıkları deliklerin 3 boyutlu tarayıcı mikroskopla (a-d) ve dijital fotoğraf makinesiyle (e) çekilmiş resimleri gösterilmektedir.

20

Şekilde yer alan parçalar numaralandırılmış olup, bu numaraların karşılıkları aşağıda verilmiştir:

100. Yöntem

25

İstenilen geometri, taban genişliği, yükseklik, yükseklik/tabın genişliği oranı, uç açısı ve iğne sayısına sahip katı mikroıǵne üretilmesini sağlayan buluş konusu yöntem (100);

-bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak üretilmek istenen mikroıǵnenin şekil ve boyutlarına ilişkin bir dizayn yapılması (101),

30

- dizayn edilen geometrik şekillerin maskeler üzerine yazdırılıp, fotolitografi ile yazım işleminin tamamlanması (102),
- maske üzerindeki geometrik şekillerin silikon kaplı plaka üzerine aktarılması (103),
- 5 -silikon plakanın küçük boyutlara kesilmesi (104),
- kesilen silikon plakalardaki geometrik şekiller doğrultusunda kuru aşındırma yapılması ile mikroigne elde edilmesi (105) ve
- elde edilen mikroignelerin kaplanması (106) adımlarını içermektedir.
- 10 Buluş konusu yöntemin (100) bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak üretilmek istenen mikroignenin şekil ve boyutlarına ilişkin bir dizayn yapılması (101) adımı, tercihen AutoCAD ve Layout Editor şeklindeki CAD tabanlı tasarım programları kullanılmaktadır. Ayrıca, bu programlar yerine Klayout ve L-Edit şeklindeki programlar da kullanılabilir. Kullanılan silikon plakaların
- 15 kalınlığı 500-1000 μm olarak belirlenebilmektedir. 1000 μm 'lik silikon plaka kullanılması durumunda, CAD tabanlı tasarım programları ile üretilmek istenen mikroigneye ilişkin konik, piramit, tetrahedron, yıldız ve polihedron yapılı geometrik şekil, 100-500 μm aralığında taban genişliği, 50-800 μm aralığında yükseklik, 0.1-8 aralığında yükseklik/tabın genişliği oranı, $<90^\circ$ uç açısı ve 50-
- 20 2000 iğne/ cm^2 aralığında iğne sayısı parametreleri belirlenmektedir (Tablo 1). Mikroignelere ilişkin tasarım programları ile tasarlanmış geometrik şekiller Şekil 2'de gösterilmektedir.

25

30

Tablo 1. Mikroİğnelerin AutoCAD’de belirlenen dizayn parametreleri

MİKROİĞNE ÇEŞİDİ	FOTORESİST KENARI (µm)	MİKROİĞNE ARASI UZAKLIK (µm)	1 CM ² ’DEKİ MİKROİĞNE SAYISI	MİKROİĞNELERİNİN KAPLADIĞI ALAN (mm ²)	AŞINDIRMA İÇİN MEVCUT ALAN (mm ²)
KONİK	200	100	900	0.03142	58.0261
		200	529	0.03142	69.68292
	300	100	484	0.07069	52.09014
		200	324	0.07069	63.40054
	400	100	324	0.12566	45.59026
		200	225	0.12566	58.0306
	500	100	225	0.19635	42.12535
		200	169	0.19635	53.12095
PİRAMİT	200	100	900	0.04	50.3041
		200	529	0.04	65.1441
	300	100	484	0.09	42.7441
		200	324	0.09	57.1441
	400	100	378	0.16	25.8241
		200	225	0.16	50.3041
	500	100	225	0.25	30.0541
		200	169	0.25	44.0541
TETRAHEDRON	200	100	1452	0.01732	61.15546
		200	720	0.01732	73.8337
	300	100	900	0.03897	51.2311
		200	520	0.03897	66.0397
	400	100	580	0.06928	46.1217
		200	352	0.06928	61.91754
	500	100	425	0.10825	40.29785
		200	266	0.10825	57.5096
YILDIZ	200	100	324	0.10928	50.89738
		200	225	0.10928	61.7161
	300	100	169	0.24588	44.75038
		200	121	0.24588	56.55262
	400	100	100	0.43713	42.5911
		200	81	0.43713	50.89657
	500	100	64	0.69422	41.87402
		200	49	0.69422	52.28732

- 5 Buluş konusu yöntemin (100) dizayn edilen geometrik şekillerin maskeler üzerine yazdırılıp, fotolitografi ile yazım işleminin tamamlanması (102) adımımda, tasarım programlarında çizimi gerçekleştirilen mikroİğne şekilleri krom yapılı maskeler ya da asetat kâğıt üzerine lazer maske yazdırıcı kullanılarak yazılmaktadır. Bunun dışında, direkt-yazdırma metodu kullanılarak silikon tabaka üzerine herhangi bir
- 10 maske kullanılmadan yazdırılabilmektedir. Yazım işlemi sırasında fotorezist dayanıklılığını artırmak için XeF₂’ye seçiciliği olmayan ya da çok düşük olan silikon nitrat (Si₃N₄) kaplama yapıp, fotolitografi ile yazım tamamlanmaktadır. Si₃N₄ yerine metaller, metaloksitler ve metal nitrit şeklindeki materyaller de kullanılabilmektedir.

Buluş konusu yöntemin (100) maske üzerindeki geometrik şekillerin silikon kaplı plaka üzerine aktarılması (103) adımı, maske üzerindeki geometrik şekiller, UV maske baskısı yapmak için üzerine 1-2 μm kalınlıkta fotorezist ile kaplı
5 silikon yapılı plaka üzerine aktarılmaktadır. Fotorezist olarak AZ tabanlı ya da SU-8 tabanlı materyaller kullanılabilir. Kullanılan fotorezistin modeline göre 1 μm – 100 μm arasında kaplama silikon plaka üzerine yapılabilir.

Buluş konusu yöntemin (100) silikon plakanın küçük boyutlara kesilmesi (104)
10 adımı, üzerinde istenilen geometrik yapıların olduğu silikon plaka mikrotestre ile tercihen 0.5-10 cm^2 'lik kare, dikdörtgen, yuvarlak, üçgen veya çokgen şekillerden herhangi birine kesilmektedir.

Buluş konusu yöntemin (100) kesilen silikon plakalardaki geometrik şekiller
15 doğrultusunda kuru aşındırma yapılması ile mikroiğne elde edilmesi (105) adımı, 1 cm^2 'lik karelere kesilen her bir silikon plaka XeF_2 (ksenon florür) gazı ile izotropik olarak kuru aşındırmaya maruz bırakılmakta ve aşındırma sonucunda tasarımı yapılan mikroiğneler elde edilmektedir. Aşındırma sırasında XeF_2 gazının basıncı 1-4 m Torr ve aşındırma süresi 10-900 s olacak şekilde
20 optimize edilmektedir.

Buluş konusu yöntemin (100) elde edilen mikroiğnelerin kaplanması (106)
adımı, mikroiğneler mekanik strese karşı sağlamlıklarını artırmak ve yüzey pürüzsüzlüğünü gidermek için krom, titanyum, paslanmaz çelik, alüminyum,
25 bakır, nikel, zirkon ve molibden şeklinde metaller ile ya da seramik şeklinde ne metalik olan ne de organik olan materyallerle kaplanmaktadır.

Buluş konusu yöntemde (100) mikroiğnelerin oluşum süreleri CAD'de dizayn edilen çizimlere ve fotorezist dışında kalan alanın genişliğine göre
30 değiştirilmektedir. CAD programında yapılan ön hesaplama göre her biri 1 cm^2 'lik olmak şartıyla, ~40 adet mikroiğne için yaklaşık olarak mikroiğne başına

60 mm²'lik bir başlangıç aşındırma alanı olduğu ve bunun da 30 saniyelik aşındırma süresi ve 4 mTorr'luk gaz basıncı ile mikroıǵnelerin istenilen yükseklikte oluşması için ~12 saatlik bir zaman gerektiği hesaplanmıştır. Mikroıǵne oluşturma işlemi, XeF₂ seçici aşındırma yapan cihaz (SPTS Technologies, UK) ile yapılmıştır.

Buluş konusu yöntem (100) ile elde edilen mikroıǵnelerin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için mikroıǵneler kuru aşındırma işleminin hemen sonrasında ilk olarak ışık mikroskobu altında incelenmiştir. Mikroıǵnelerin istenilen şekle geldiği belirlendikten sonra aşındırma işlemi sonlandırılmıştır. Üzerinde fotorezist kalıntısının kalmadığı belirlenen mikroıǵnelerin morfolojik ve pürüzlülük (Tablo 2) gibi yüzey özellikleri nano-tarayıcı elektron mikroskobun ve 3B lazer tarayıcı mikroskobu (Keyence vk x100) ile belirlenmiştir (şekil 3 ve 4). Bu mikroskoplar kullanılarak aynı zamanda mikroıǵnelerin yükseklik ve genişliği belirlenmiştir. Mikroıǵnelerin mekanik dayanıklılıklarının artırılması için krom ve titanyum ile kaplanıp kaplanmadığı EDX analizi ile belirlenmiştir (şekil 4).

Tablo 2. Kaplama öncesi ve sonrası mikroıǵnelerin yüzey pürüzlülüğündeki değişimleri

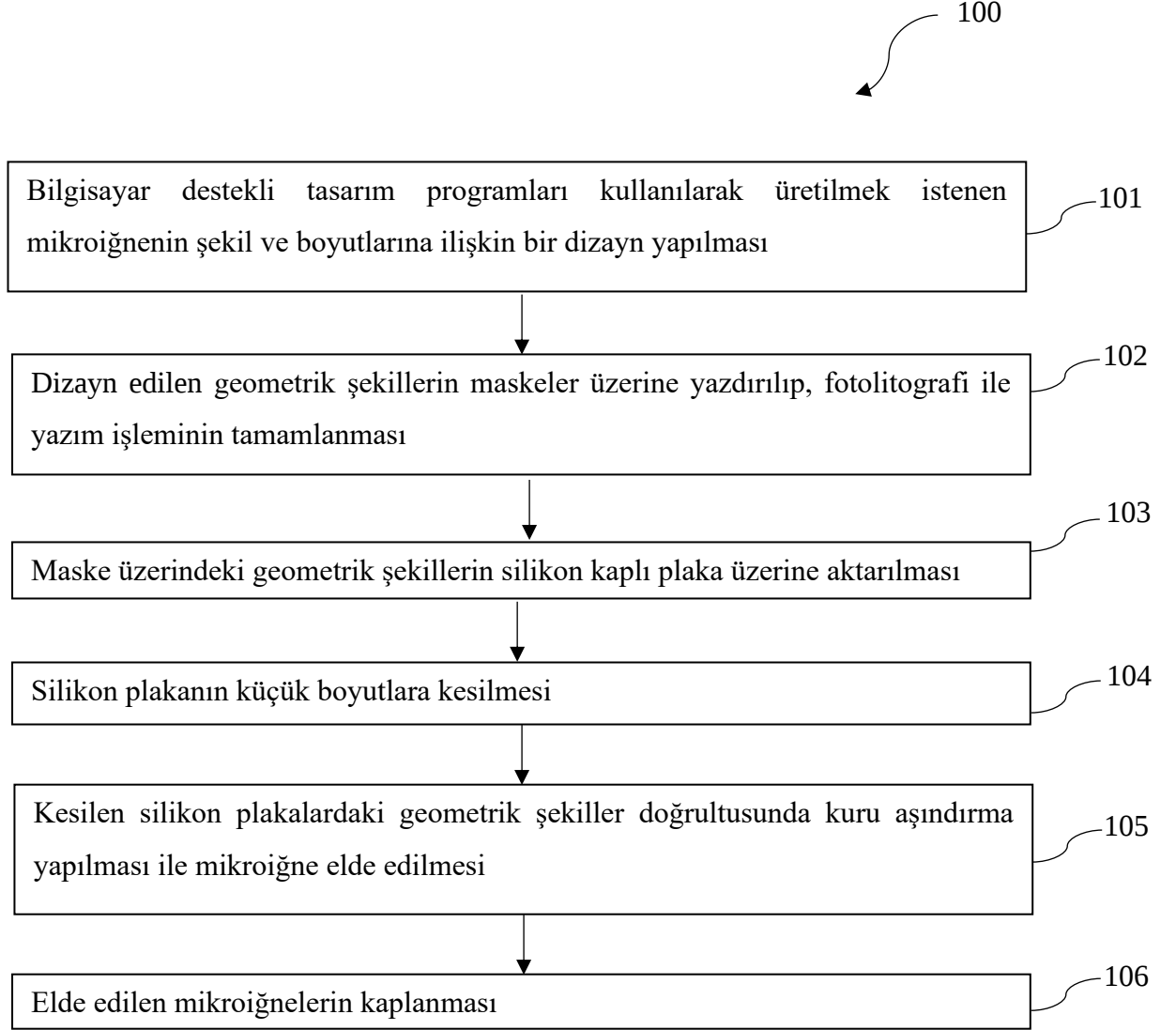
Kaplama prosesi	Geometri	Ra*	Rz**	Rq***
Kaplamasız	Piramit	0.71	4.671	0.888
	Konik	0.585	3.567	0.712
Titanyum kaplama	Piramit	0.458	2.366	0.541
	Konik	0.475	2.537	0.583
Krom kaplama	Piramit	0.379	1.677	0.450
	Konik	0.351	1.757	0.415

Buluş konusu yöntem (100) sayesinde transdermal ilaç salınımı için kullanılmak üzere katı yani deliksiz bir mikroıǵne üretilmiştir. Deliksiz mikroıǵneler

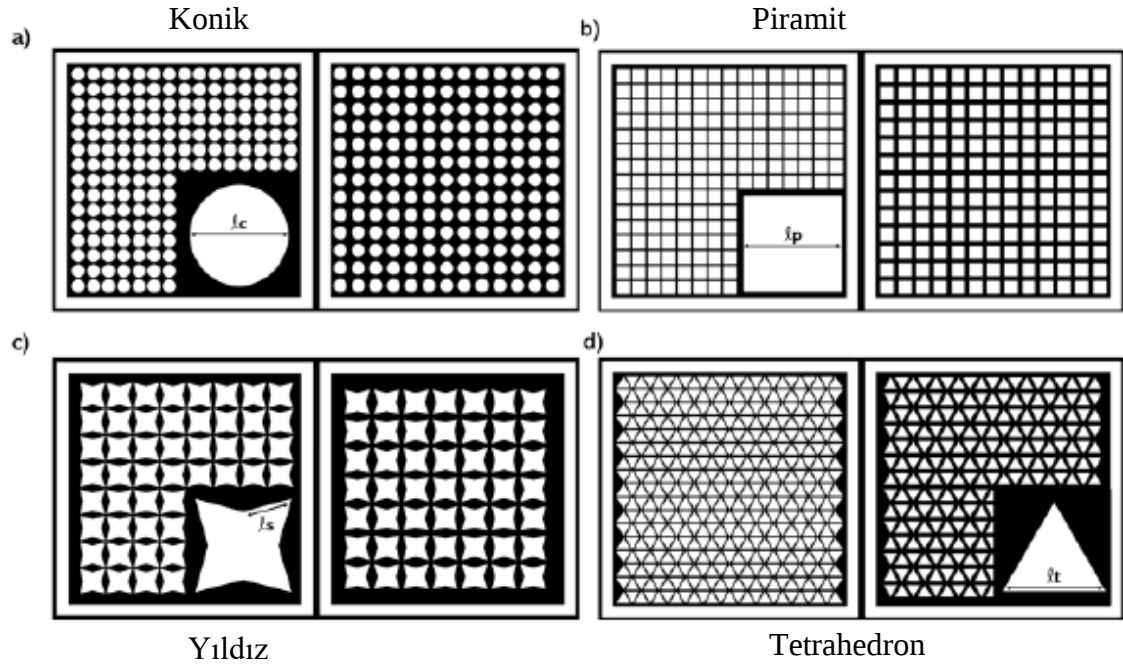
genellikle ilaç ve kozmetik sektöründe deri üzerinde mikro yapıda porlar açıp ilaç ya da krem gibi maddelerin deri altına penetrasyonunu kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Optimize edilen proses sayesinde kuru aşındırma tekniğinin daha az sürede ve en uygun ksenon diflorür gaz basıncı kullanarak mikroigne üretimleri yapılmıştır. Buna ek olarak, hedeflenen mikroignenin geometrik özellikleri ve sayısına göre kullanılabilecek çizimler optimize edilmiştir ve üretime hazır hale getirilmiştir. Mikroignelerin üzerine kaplanan krom ve titanyum gibi genellikle biyouyumlu olan metallerin mikroignenin pürüzlülüğüne etkisi belirlenmiştir ve mekanik dayanıklılıkları artırılmıştır. Kaplama sonrasında elde edilen pürüzlülük 1 μm 'nin altındadır. Söz konusu kaplama Magnetron Sputter Coating tekniği ile yapılmıştır. Bu teknik dışında, kaplama iyon ışını buharlaşması (ion-beam evaporation) ya da elmas-benzeri karbon (diamond-like carbon (DLC)) teknikleri de kullanılabilmektedir. Bu şekilde üretilen mikroigneler tekrar kullanılabilecek olup, ekonomik olarak özellikle ilaç, kozmetik, tarım ve gıda sektörleri için daha cazip bir hale gelmiştir.

Bu temel kavramlar etrafında, buluş konusu “Bir Mikroigne Üretim Yöntemi (100)” için çok çeşitli uygulamaların geliştirilmesi mümkün olup, buluş burada açıklanan örneklerle sınırlandırılmaz, esas olarak istemlerde belirtildiği gibidir.

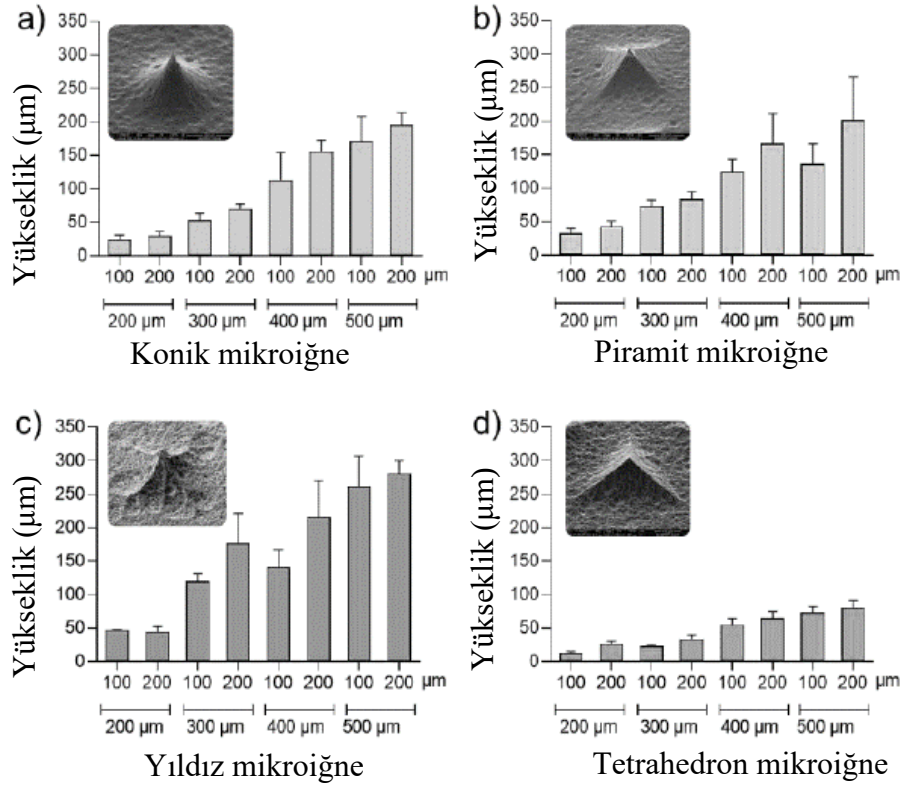
Şekil 1



Şekil 2

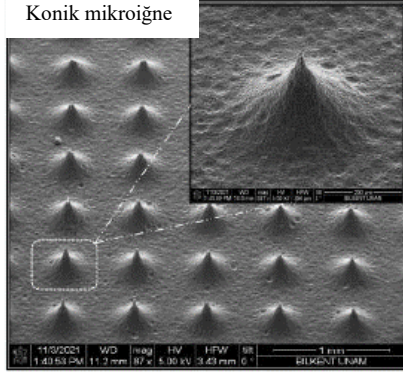


Şekil 3

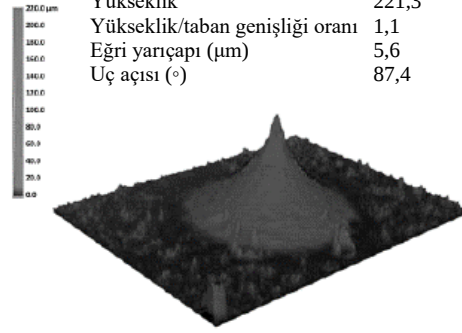


Şekil 4

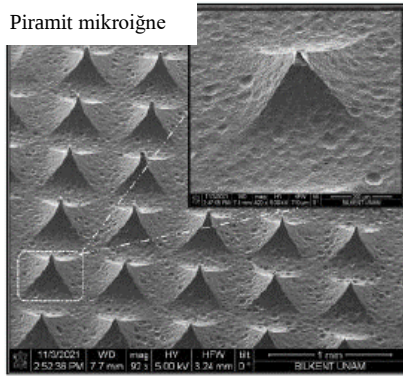
a) Konik mikroigne



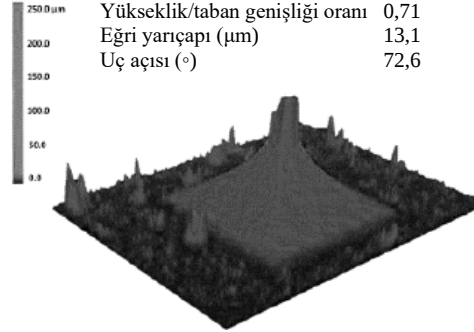
Taban genişliği 379,1
Yükseklik 221,3
Yükseklik/taban genişliği oranı 1,1
Eğri yarıçapı (μm) 5,6
Uç açısı ($^\circ$) 87,4



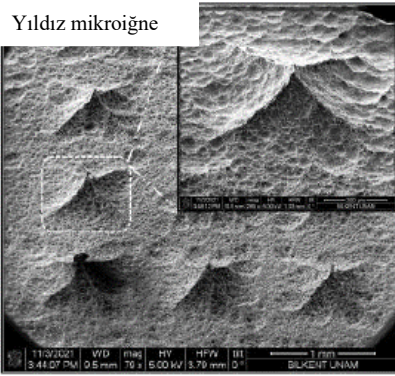
b) Piramit mikroigne



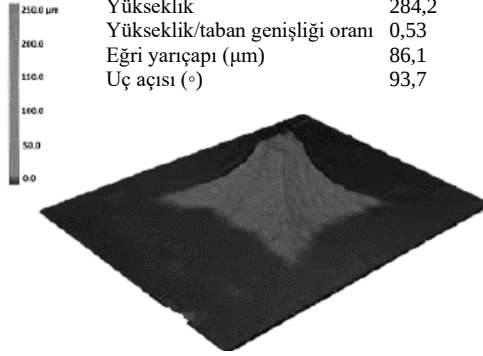
Taban genişliği 369,4
Yükseklik 261,9
Yükseklik/taban genişliği oranı 0,71
Eğri yarıçapı (μm) 13,1
Uç açısı ($^\circ$) 72,6



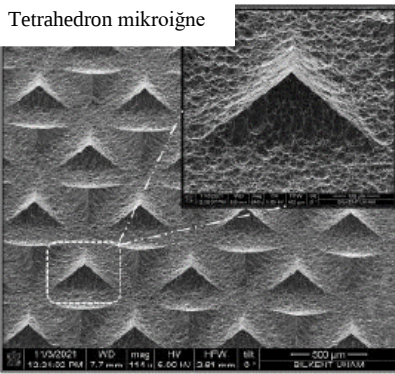
c) Yıldız mikroigne



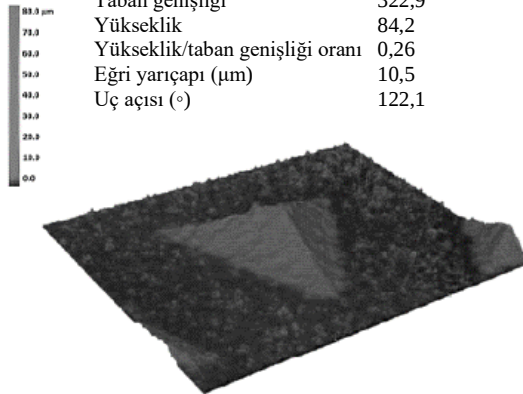
Taban genişliği 540,4
Yükseklik 284,2
Yükseklik/taban genişliği oranı 0,53
Eğri yarıçapı (μm) 86,1
Uç açısı ($^\circ$) 93,7



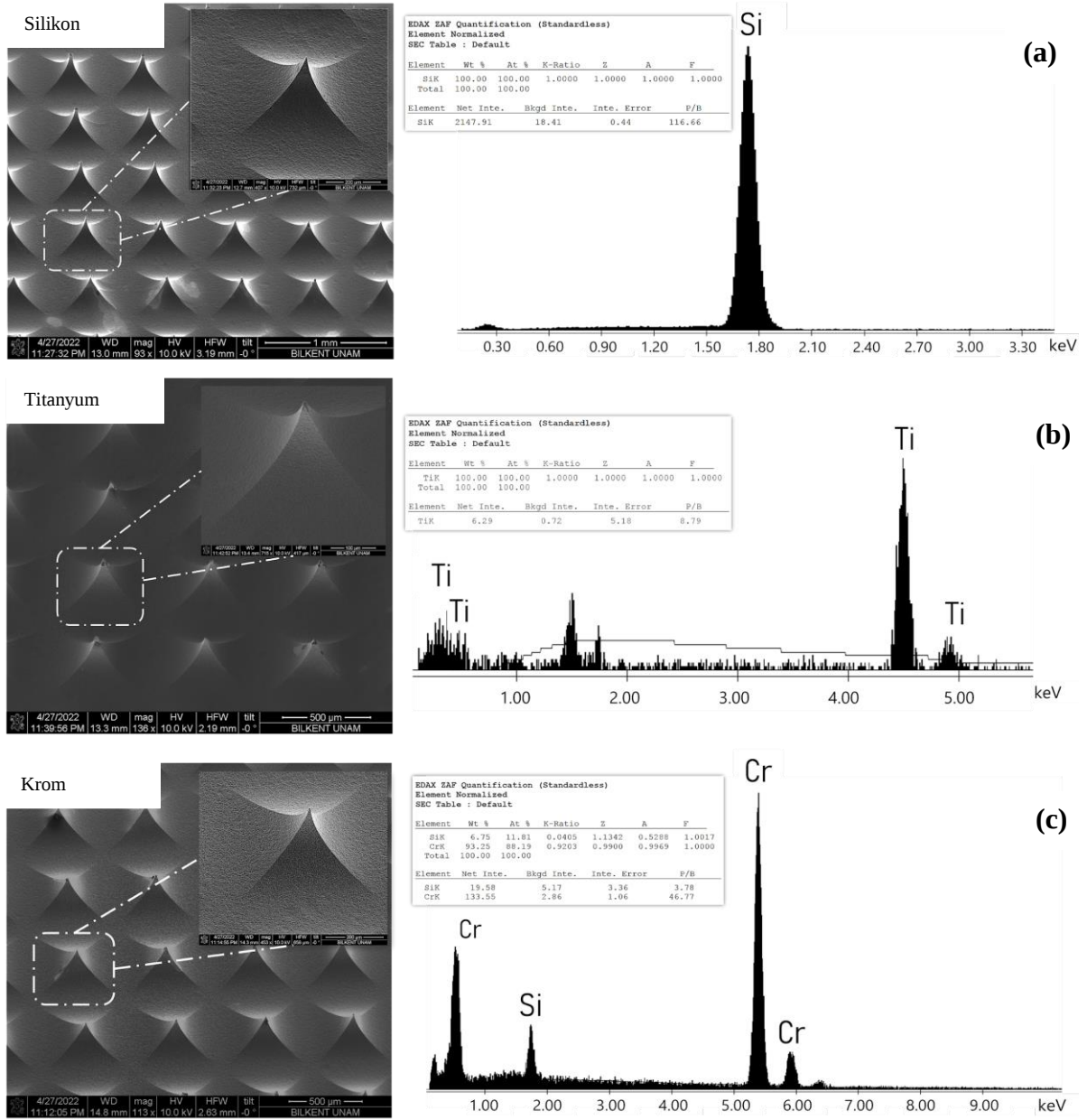
d) Tetrahedron mikroigne



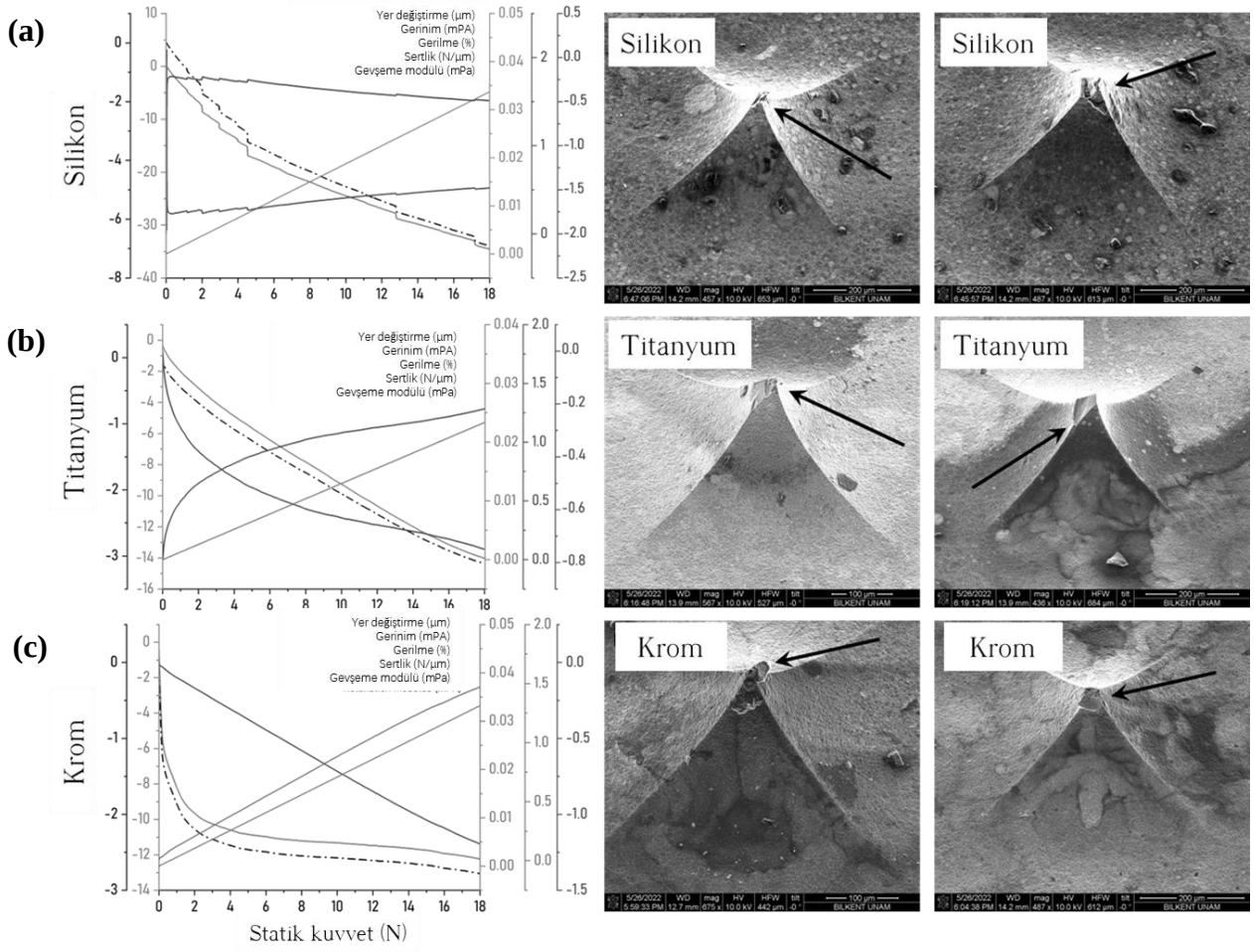
Taban genişliği 322,9
Yükseklik 84,2
Yükseklik/taban genişliği oranı 0,26
Eğri yarıçapı (μm) 10,5
Uç açısı ($^\circ$) 122,1



Şekil 5



Şekil 6



Şekil 7

