

ÖZET

5

BİR ELMAS MEMBRAN VE BİR ÇEVİRGEÇTEN OLUŞAN BİR KAPASİTİF MİKROÜRETİLMİŞ ULTRASONİK ÇEVİRGEÇİN MİKROÜRETİM YÖNTEMİ

10 Bu buluş genel olarak kapasitif mikrouretilmiş ultrasonik çevirgeçlerle (CMUT'lar), özellikle de elmas ve ya elmas benzeri karbon membranın üzerinde ince bir ara katman olarak yüksek sıcaklıklı oksit bulunduran elmas kaplı silisyum pulla plazma ile aktive edilmiş doğrudan pul yapıştırma yöntemi kullanılarak bağlanması sonucu elde edilen membranlarla bu CMUT'ların mikrouretimini ilgilidir.

İSTEMLER

1. En az bir CMUT hücresi içeren kapasitif mikrouretilmiş ultrasonik çevirgecin (CMUT'ın) mikrouretim için yöntem olup,

5

–

- tercihen substrat yüzeyi dop edilerek, bu substrat üzerinde ilk elektrot katmanının hazırlanması ve
- termal oksit halinde silisyum oksit kaplanması ve daha sonra bir oyuk duvarı malzemesinin aşındırılması ile bahsedilen ilk elektrot üzerinde oyuk duvarlarının oluşturulması,

10

ile bir substrat hazırlanması;

–

- elmas tabakayla kaplı substratın hazırlanması veya edinilmesi ve
- $\text{SiH}_2\text{Cl} : \text{N}_2\text{O}$ özel olarak akış hızı oranı 1:2 olacak şekilde SiH_2Cl ve N_2O kullanılarak elmas katman üzerine kaplanan yüksek sıcaklıklı oksit halinde silisyum dioksit ile bir ara katman oluşturulması ve cilalanması,

15

ile bir membran hazırlanması;

- ara katman ve oyuk duvarları arasında plazma ile aktive edilmiş doğrudan pul yapıştırma yöntemi kullanılarak; membranın substrat üzerine ara katman oyuklara bakacak şekilde yapıştırılması;
- elmas katmanın substratının kaldırılması;
- en az bir ilk elektrot bağlantısının oluşturulması;

20

adımlarını içermekte;

bahsedilen ara katman oyuk duvarı malzemesine yüksek kimyasal ilgisi olan bir malzeme olmakta, bahsedilen ara katmanın yüzey pürüzu cilalama yapılarak 0,5 nm'nin altına düşürülmekte ve bahsedilen ara katmanın cilalama sonrasındaki kalınlığı membranın tavrını elmas katman belirleyecek şekilde bu karar verilmektedir.

25

2. İstem 1'e göre yöntem olup, cilalanmış yüksek sıcaklıklı oksit kalınlığının elmas katmaninkine oranı 5'ten küçük, tercihen 0.25 eşittir.

30

3. İstem 1'e göre yöntem olup, yüksek sıcaklıklı oksidin cilalanma öncesindeki kalınlığının, cilalanmış yüksek sıcaklıklı oksidinkinden en az 0,3 μm fazladır.

4. İstem 1'e göre yöntem olup, membran, N_2 plazması ile yüzey aktivasyonu sonrasında, 550 $^\circ\text{C}$ 'de, 10^{-4} mbar'lık vakum altında substrata yapıştırılır.

5. Istem 1'e gore yontem olup, elmas katmanı nanokristal elmadır.
6. Istem 5'e gore yontem olup, elmas katmanı bir silisyum substrat uzerindedir.
7. Istem 1'e gore yontem olup, elmas katmanı ultrananokristal elmadır.
8. Istem 7'ye gore yontem olup, elmas katmanı bir silisyum dioksit substrat uzerindedir.
- 5 9. Istem 5 ila 8'in herhangi birine gore yontem olup, elmas katmanı 50 MPa'dan küçük reziduel gerilmeye sahiptir.
10. Istem 1'e gore yontem olup, ilk elektrot bağlantıları elmas katmanındaki en az bir gırintide oluşturulur.
11. Istem 10'a gore yontem olup, elmas katmanındaki gırintiler, aşındırılmayacak elmas katmanı bolgeleri koruyucu silisyum dioksit tabakası ile kaplanırken, elmas katmanında reaktif iyon aşındırması yapılarak elde edilir.
- 10 12. Istem 1'e gore yontem olup, son adımda elmas katmanı dop edilmemiştir ve membran uzerinde ayrıca en az bir ikinci elektrot oluşturulur.
13. Istem 1'e gore yontem olup, elmas katmanı dop edilmiştir.
- 15 14. Istem 13'e gore yontem olup, son adımda elektrot bağlantısı olarak kullanılacak en az bir ikinci elektrot membran uzerinde oluşturulur.
15. Istem 12 ya da 14'e gore yontem olup, ikinci elektrot alüminyum, platin, titanyum ve altının bir kombinasyonudur.
16. Istem 15'e gore yontem olup, ikinci elektrot membran uzerine puskurtulen alüminyumdur.
- 20 17. Istem 15'e gore yontem olup, ikinci elektrot, membran uzerindeki bir titanyum katmandan, bahsedilen titanyum katman uzerindeki bir platin katmandan ve bahsedilen titanyum katman uzerindeki altın bir katmandan oluşur.
18. Bir CMUT olup, her biri bir silisyum substrat alt pul, bahsedilen substrat alt pulunun bir yuzeyi uzerinde, bu yuzeyin dop edilmesiyle oluşturulmuş bir substrat elektrot katmanı, bahsedilen substrat elektrot katmanı uzerinde en az bir oyuk tanımlayan **termal oksit halinde silisyum oksit** oyuk duvarları, membran işlevi gormek uzere bir elmas katman, bahsedilen elmas katmanının bir yuzune kaplanan ve bahsedilen oyuk duvarları ile bahsedilen elmas katmanı arasında doğrudan pul yapıştırma için bir yuzey sağlayan bir **yüksek sıcaklıklı oksit halinde silisyum dioksit** ara katman, substrat elektrot katmanı uzerinde oluşturulan substrat elektrot bağlantıları içeren en az bir CMUT hucresinden oluşur.
- 25 19. Istem 18'e gore CMUT olup, cıalanmış yüksek sıcaklıklı oksit kalınlığının elmas katmaninkine oranı 5'ten küçük, tercihen 0.25 eşittir.
- 30 20. Istem 18'e gore CMUT olup, elmas katmanı nanokristal elmas ya da ultrananokristal

elmastır.

21. İstem 18'e göre CMUT olup, substrat elektrot bağlantıları elmas katmanındaki girintilerde bulunur.

22. İstem 18'e göre CMUT olup, elmas katmanın dop edilmemiştir ve membran üzerinde en az bir membran elektrotu bulunur.

23. İstem 18'e göre CMUT olup, elmas katmanı dop edilmiştir.

24. İstem 23'e göre CMUT olup, membran üzerinde elektrot bağlantısı olarak kullanılacak en az bir membran elektrotu bulunur.

25. İstem 22 ya da 24'ten herhangi birine göre CMUT olup, membran elektrotu alüminyum, platin, titanyum ve altının bir kombinasyonudur.

26. İstem 25'e göre CMUT olup, membran elektrotu alüminyumdur.

27. İstem 28'e göre CMUT olup, membran elektrotu membran üzerindeki bir titanyum katmandan, bahsedilen titanyum katman üzerindeki bir platin katmandan ve bahsedilen titanyum katman üzerindeki altın bir katmandan oluşur.

Uğur G. YALÇINER
YALÇINER PATENT
ve DANIŞMANLIK LTD. ŞTİ.
Tel: (0312) 466 35 31 ANKARA
Kavaklıdere V.B. 062 007 8100

BİR ELMAS MEMBRAN VE BİR ÇEVİRGEÇTEN OLUŞAN BİR KAPASİTİF MİKROÜRETİLMİŞ ULTRASONİK ÇEVİRGEÇİN MİKROÜRETİM YÖNTEMİ

Buluşun İlgili Olduğu Alan

5 Bu buluş çoğunlukla kapasitif mikrouretilmiş ultrasonik çevirgeçlerle (CMUT'lar), biraz da elmas ve ya elmas benzeri karbon (yine elmas olarak anılacaktır) membranlarla ve boylesi CMUT'ların mikrouretimı ile ilgilidir.

Buluşla İlgili Tekniğin Bilinen Durumu

10 Kapasitif mikrouretilmiş ultrasonik çevirgeçler (CMUT'lar) ultrason yaymak ve algılamak için kullanılan elektromekanik enerji donuşumu cihazlarıdır. Sıvı içinde kullanılan CMUT'lar genellikle bir membran malzemesi tarafından şekillendirilen vakum oyuğundan oluşur. Vakum oyukları geleneksel olarak iki teknikle oluşturulabilir. Birincisi; membran malzemesinin aşınma delikleri boyunca aşındırılmadan önce feda edilecek malzemeyle
15 kaplandığı ve aşınma deliklerinin içinin alçak basınç altında oyuğu oluşturmak üzere kaplanarak doldurulduğu feda etme yöntemidir. Feda etme yöntemi ile üretilen CMUT'lar çoğunlukla Si₃N₄ membran bulundururlar. Bu yöntemin yırtılmadan çok geniş membran elde edebilme ya da yüksek doluluk oranlı küçük membran elde edebilme konusundaki kısıtlamaları; çevirgecin fiziksel parametreleri üzerindeki hassas mühendisliğe olumsuz etki
20 etmektedir. Ayrıca üretime bağlı oluşan reziduel gerilmeden dolayı Si₃N₄ membranların da iyi kontrol edilebilir sapma profili gösterebilmeleri zordur. İkincisi ise iki pulun (birisı şekillendirilmiş oyuğa diğeri ise membran malzemesine sahip) yüksek sıcaklık ve vakum altında bağ kurduğu doğrudan pul yapıştırma yöntemidir.

25 Soz konusu daha iyi sureç kontrolu, daha yüksek verim ve CMUT tasarımında daha yenilikçi olmak olduğunda; bu iki mikrouretim yönteminden doğrudan pul yapıştırma teknolojisi kurban salınım surecinden daha ekonomiktir. Doğrudan pul yapıştırma teknolojisi, silikon nitrat yerine mono kristal silisyumun membran olarak kullanılabilirdiği CMUT' lar üretilmesine olanak sağlar. Hem membran hem de substrat malzemeleri silisyum olduğundan, yüksek sıcaklıklarda (1100 °C) doğrudan pul yapıştırma ancak reziduel gerilmesi
30 olmayan membran ile yapılabilir. Buna ilaveten, entegre devreye uyumlu daha düşük sıcaklıklı (400 °C) doğrudan pul yapıştırma yöntemi de kullanılabilir. Bu teknoloji CMUT'ların üretimindeki karmaşıklığı ve sureyi oldukça azaltmış ayrıca vadesi dolmuş kurban salınım

surecine nazaran, ustun sureç kontrolu, yuksek verim ve daha iyi bir orneklik sunmuştur. Doğrudan pul yapıştırma yonteminin en iyi yanları; iyi bilinen silisyum kristal malzemesini membran olarak sunabilmesi ve membran üzerinde aşınma delikleri açmadan vakum oyuğu oluşturabilmesidir. Bunların ikisi de doğrudan sıvı içinde sağlam çalışabilirlik olarak yorumlanabilir. Yakın zamanda entegre devre ile pul yapıştırma yontemiyle uretilen 2B CMUT dizileri arasında flip-chip bağı başarıyla yapılmıştır. Boylelikle, son gelişmeler CMUT tasarımının spesifikasyonlarının rahatça sağlanabilmesine endustriyel duzeyde CMUT urunlerinin doğrudan pul yapıştırma teknolojisı kullanılarak uretilebilmesine olanak sağlamıştır.

10 CMUT'ların enerji donuşumu verimliliği ultrason uygulamaları için birincil onemi taşımaktadır ve ultrasonik çevirgeçlerde bu verimin iyileştirilmesi yaygın olarak çalışılmaktadır. Geleneksel olarak ultrason uretebilmek için CMUT'a çokme voltajının altında bir voltaj verilir ve AC sinyali uygulanır. Bayas voltajı çokme voltajına yaklaştığında çevirgecin verimliliği önemli ölçude artar. Ancak bu yuksek verim membranın substrat üzerine çokmesi riskini de beraberinde getirir. Ek olarak; yuksek bayas voltajı ile çalışırken membranın çokmesine engel olabilmek için, AC genliği küçük bir tetikleme voltajı ile kısıtlanır. Bundan dolayı, doğası gereği bir CMUT'ın azami çıkış basıncı, alışlagelmış çalışma gereklilikleri ile kısıtlanmıştır.

20 Yuksek şiddetle odaklanmış ultrason (HIFU) gibi olası tıbbi tedavi uygulamaları için yuksek çıkış basıncı esastır. Bahsı geçen kısıtlamalar olmadan eşsiz akustik çıkış basıncı sunabilmek için yeni geliştirilen CMUT çalışma modları, çokme ve çokme-geridönme, tanıtılmıştır. Her iki çalışma modu da membranın substrat yüzeyi ile temasını gerektirir. Bu durum yapısal bütünlük ve tribolojik özellik anlamında membranın ömrünü kısaltabilir. Çokme sırasında membranın fazla sapması membrandaki gerilmeyi arttırır ayrıca yuksek ultrason frekanslarında gerilmedeki değişim çalışma omrünü kısaltır ve yuksek çıkış basınçlı çalışma modlarında guvenirliliği arttırır. Ultrason uygulamaları çevirgeç yüzeyinin akustik ortam ile temasını gerektirir. Yuzey, dış basınca ve çevresel etmenlere maruz kaldığından; membranın sertlik ile tanımlanan ömrü, CMUT performansı için en önemli etmenlerden biridir. Elektrostatik kuvvetlerden ve atmosfer basıncı vakumlanmış oyuğa bağlı olarak etki göstereceğinden dolayı, membranın çokme profilinde membranın elastisite modülü de önemli rol oynar.

Çokme-geridönme modu, her periyotta temas yüzeylerinin çarpışmasını gerektirir bu sebeple ortaya çıkan ısının ise istikrarı sağlayabilmek adına hızlıca

dağıtılmasını gerektirir. Bu modlarda sürdürülebilir çevirgeç çalışması için iletilen yüksek çıkış basıncının yüksek olabilmesini sağlayabilecek ilave gereksinimler göz önüne alındığında; elması membran malzemesi olarak kullanılmak nihai çözüm olarak sunulabilir. Elmanın mekanik (yüksek elastisite modülü, ekstrem sertlik), termal (yüksek termal iletkenlik, düşük termal genleşme katsayısı), ve elektrik (yalıtkan, yüksek elektrik bozulma voltajı) özellikleri CMUT'ların mikroüretiminde kullanılması lehinedir. CMUT'ların yıpratıcı çevrede ve biyolojik örnek üzerinde kullanılabilmesi açısından kimyasal duyarsızlık, biyoyumluluk ve yüzey modifikasyonuna uygunluk elmanın faydalı özelliklerindedir. Örneğin oksijen plazma veya piranha çözeltisi ile elde edilebilecek olan hidrofilik O₂ ile sonlandırılmış elmas yüzey, sıvı içinde kullanımda kabarcıkların oluşturacağı şok etkisinin hasar verici olmasını engelleyecektir. Elması için aşındırıcı bir kimyasal sıvı olmadığından ekstrem ve sert ortamlarda kullanıma en uygun malzemedir. Hem şu anda kullanılan (SbN₄ ve silisyum) hem de ileride kullanılacak membran malzemelerine kıyasla elmas yüksek elastisite modulu ve istisnai sertliği (bkz. Tablo 1) ile farkını gösterir.

Tablo 1:

Ozellik \ Madde	Silisyum Nitrat	Silisyum	Elmas
Elastisite Modülü (GPa)	320	160	1200
Sertlik (kg/mm ²)	1580	1000	10000
Termal İletkenlik (W/mK)	30	151	2000
Termal Genleşme (10 ⁶ /K)	3.3	2.5	1.1

Elmas, özellikleri düşünüldüğünde mukemmel bir membran malzemesi adayıdır. Ancak mono kristal elmas (SCD) kaplama teknolojisinin gelişme aşamasında olması; elmas membranların CMUT'a entegrasyonunu engellemiştir. İnce film SCD kaplanmış pullar toplu MEMS işlemi için ticari olarak mevcut değildir. Ayrıca SCD filmlerin yüzey pürüzu, CMUT mikrouretiminde doğrudan pul yapıştırma teknolojisini kullanamayacak kadar yüksektir.

Yakın zamanda, elmas malzeme buyutme teknolojisindeki gelişmelerle ultrananokristal elmas (UNCD) ince film olarak kullanıma hazır hale gelmiştir. UNCD, SCD filmlerdeki faydaların çoğuna sahiptir. Ancak polikristal elması çevreleyen grafit formlarından oturu daha düşük ozdirenç sahiptir (SDC: yalıtkan, UNCD: yüksek ozdirençli). Bir membran malzemesi olarak UNCD'nin dikkat çekici bir özelliği ise pul yüzeyine oldukça düşük reziduel gerilme (<50 MPa) ile kaplanabilmesidir. UNCD'lerin, daha küçük granül boyutlarına ve daha düşük yüzey pürüzüne sahip oldukları MEMS uygulamalarında (örneğin; RF MEMS rezonatorları, hibrit piezoelektrik/UNCD uçlar) keşfedilmiştir. Ancak elmas membranlı CMUT'larla ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

US7846102B2 ve US7745248B2 dokümanlarında CMUT'lara ilişkin muhtelif gelişmeler açıklanmış, elmasın da silisyum, silisyum nitrat ve silisyum karbur gibi membran malzemeleri arasında sayılabileceğine değinilmiştir.

US7530952B2 dokümanında, aralarında doğrudan pul yapıştırma yapılmış membran ve substratı bunyesinde barındıran bir CMUT anlatılmıştır. Bu dokümanda yine membran malzemesinin silisyum, silisyum nitrat veya safirden olabileceği gibi elmastan da olabileceğinden bahsedilmiştir.

Yukarıda bahsedilen dokümanlar (US7846102B2, US7745248B2 ve US7530952B2) elmas malzemenin membran olarak kullanılabilmesine ilişkin bir yöntem sunmamaktadırlar. Bu sebeptendir ki ne elmas malzemenin karakteristik özellikleri ne de elmas malzemenin bu şekilde kullanımının hangi anlama geleceği yayınlanmıştır.

Elmas kullanılmış membranın substrata doğrudan pul yapıştırma yöntemi ile bağlanması, buyutülen elmasın katmanın yüzey özellikleri sebebiyle elverişsizdir. Bu şekilde buyutülen elmas katmanın yüksek yüzey pürüzu ve elmas ile silisyum dioksit arasındaki düşük kimyasal ilgi; istenilen doğrudan pul bağının kurulmasına engel teşkil etmektedir. Ustelik klasik cıtalama metotları uygulanması da elmas katmanın doğrudan pul yapıştırmada kullanılabilmesine katkı sağlamayacaktır.

Buluşun Kısa Açıklaması

Buluşun esas konusu membranında ultrananokristal elmas (UNCD) veya nanokristal elmas (NCD) barındıran bir CMUT'ın mikrouretimini nasıl başarılacağıdır. Elmastan yapılmış bir membran, elmas malzemenin yüksek elastisite modulu, yüksek sertliği, yüksek ısı iletkenliği ve düşük termal genleşme gibi özelliklerinden oturu CMUT'lar için çeşitli avantajlar sağlar.

Elmas temelli CMUT'ların mikrouretimini sağlamak için; şekillendirilmiş termal oksitli silisyum pul ile üzerinde ince bir ara katman olarak yüksek sıcaklıklı oksit bulunduran elmas kaplı silisyum pulun plazma ile aktive edilmiş doğrudan pul yapıştırma yöntemi kullanılarak bağlanması buluşun bir diğer konusudur.

En az bir tane CMUT hücresi barındıran elmas temelli CMUT'ın mikrouretimini temelde şu basamaklardan oluşur;

1. alt substratın hazırlanması

- a. Substrat üzerinde bir ilk elektrot hazırlanması, tercihen bu substratın yüzeyini dop ederek ve bir metal ile ohmik kontak yapmaya uygun iletken üst yüzey oluşturulması,
- b. ve bahsedilen dop edilmiş substrat yüzeyinde oyuk duvarları oluşturulması, litografi maskesiyle şekillendirilmesi sonra da silisyum dioksit aşındırması yapılması;

2. membran substratın hazırlanması

- a. elmas katmanla kaplı substratın hazırlanması veya alınması,
- b. elektriksel yalıtkan olan yüksek sıcaklıklı oksitin ara katman olarak elmas üzerine kaplanması,
- c. ve doğrudan pul yapıştırma için gerekli olan düşük yüzey pürüzünü elde edebilmek için ara katmanın kimyasal mekanik cıralama (CMP) ile nihai bir kalınlığına inceltilmesi;

3. alt ve membran substratların yapıştırılması

- a. hem alt ve hem de membran substratların yüzeyinde temizlik ve plazma aktivasyonu yapılması,
- b. iki yüzeyin ara katman oyuklara bakacak şekilde, yüksek vakum koşullarında temas ettirilmesi,
- c. yapıştırılmadan önce iki substratın 10 kN temas kuvvetiyle 550°C'de bir kaç saat sertleştirilmesi;

4. elmas katmanın substratının kaldırılması,
5. ve membran üzerinde en az bir ikinci elektrot ve en az bir birinci elektrot bağlantısı oluşturulması,

5 Burada 2.b.'deki ara katman oyuk duvarı malzemesine yüksek kimyasal ilgisi olan bir malzemeden olmalı ve doğrudan pul yapıştırma için uygun bir yüzey sağlayabilmek için bu ara katmanın yüzey puruzu kaplama yapıldıktan sonra cilalamayla 0.5 nm'nin altına düşürülmelidir. Bahsedilen ara katmanın cilalama yapıldıktan sonraki son kalınlığı membran davranışını elmas katman belirleyecek şekilde olmalıdır.

10 Tercihen 50 MPa dan düşük reziduel gerilmesi olan nanokristal elmas (NCD) veya ultrananokristal elmas (UNCD) formundaki elmas katman silisyum veya silisyum dioksit pul üzerinde elde edilir. Sonrasında yüksek sıcaklıklı oksit (HTO) ara katman oluşturmak için elmasın üzerine uygulanır. HTO'ya kimyasal-mekanik cilalama (CMP) yapılarak istenilen yüzey puruzu ve kalınlığı elde edilebilir. Çeşitli katmanları şekillendirmek ise bilinen maske, aşındırma vb. yöntemler kullanılarak yapılabilir.

Sonuç olarak bu buluşa göre CMUT; bir alt puldan, bu pulun bir yüzeyi üzerinde ilk elektrot olacak bir iletken katmandan, bu ilk elektrotun üzerinde en az bir oyuktan, bu oyuğa komşu en az bir ara katmandan, bir elmas membrandan, membran üzerinde en az bir ikinci elektrottan ve en az bir elektrot bağlantısından oluşur.

20 Elmas katman dop edilmiş veya edilmemiş olabilir. Eğer membran olarak kullanılan elmas iletken formdaysa; membranın kendisi ikinci elektrot olarak hareket eder. Oyleyse, ara katman aynı zamanda elektriksel yalıtkan olarak da hizmet ederek kısa devreyi engelleyecektir.

25 Şekillerin Açıklamaları

Bu buluşun hedefleri ve avantajları aşağıda ayrıntılı olarak tarif edilen çizimlerle birlikte anlaşılacaktır.

Şekil 1, buluşa göre CMUT hücresinin düzlemsel arakesitini gösterir.

Şekil 2(a), tek bir CMUT'ın üstten görünüşünü gösterir.

30 Şekil 2(b), bir CMUT hücresinin ve komşu hücrelerinin buyutulmuş görüntüsünü gösterir.

- Şekil 3(a), 16 elementten oluşan 1B CMUT dizisinin üstten görünüşünü gösterir.
- Şekil 3(b), 5 komşu 1B CMUT dizisinin büyütülmüş görüntüsünü gösterir.
- Şekil 3(c), bir CMUT hücresinin ve komşularının büyütülmüş görüntüsünü gösterir.
- 5 Şekil 4(a), $\langle 100 \rangle$ Kristal oryantasyonlu n-tipi silisyum substratı gösterir.
- Şekil 4(b), fosfor dop edilmiş(n+- tipi) n-tipi silisyum substratının iletken yüzeyini gösterir.
- Şekil 4(c), n+-tipi yüzeyin üzerindeki termal oksit katmanını gösterir.
- Şekil 4(d), Şekil 4(c)'deki termal silisyum dioksitli katmanın üzerine dondurularak kaplanmış fotorezist tabakası gösterilmiştir.
- 10 Şekil 4(e), Şekil 4(d)'deki fotorezist tabakasının CAVITY litografi maskesiyle şekillendirilmiş halini gösterir.
- Şekil 4(f), reaktif iyon aşındırma (CHF_3/CF_4 gazlarıyla) yöntemiyle şekillendirilmiş termal silisyum dioksit tabakayı (şekillendirilmiş fotorezist ile korunan) gösterir.
- Şekil 4(g), dop edilmiş silisyum substrat üzerinde şekillendirilen termal silisyum dioksitteki
- 15 oyuk duvarlarını gösterir (fotorezist oksijen plazma ile kaldırılmıştır).
- Şekil 5(a), silisyum üzerine elmas kaplanmış pulu gösterir.
- Şekil 5(b), diklorosilan (SiH_2Cl_2) ve nitroz oksit (N_2O) gazları kullanılarak düşük basınçlı kimyasal buhar kaplama (LPCVD) fırında elde edilen yüksek sıcaklıklı oksitin (SiO_2) silisyum substratı üzerine kaplanmış halini gösterir.
- 20 Şekil 5(c), Şekil 5(b)'deki yüksek sıcaklıklı oksitten oluşan tabakanın kimyasal mekanik cıllama yapılmış halini gösterir (tabaka incelmıştır).
- Şekil 6(a), Şekil 4(g) ve Şekil 5(c)'deki pulların üst yüzeylerinden plazma ile aktive edilmiş doğrudan pul yapıştırma yöntemi ile birbirine bağlanmış halini gösterir.
- Şekil 6(b), Şekil 6(a)'daki substratın(elmas yüzeyi mekanik olarak destekleyen tabaka)
- 25 bilenererek inceltilmiş halini gösterir.
- Şekil 6(c) oyuk duvarlarını barındıran substratın altında bulunan plazma ile desteklenen kimyasal buhar kaplama (PECVD) yöntemiyle elde edilmiş silisyum dioksiti gösterir.
- Şekil 6(d) , Şekil 6(b)'deki substratın kimyasal sıvılarla aşındırılarak inceltilmiş halini ve oyuk üzerindeki elmas membranı gösterir.

FIG. 7(a), Şekil 6(d)'deki elmas membranın üzerine plazma ile desteklenen kimyasal buhar kaplama (PECVD) yapılarak silisyum dioksit kaplanmış halini gösterir.

Şekil 7(b), Şekil 7(a)'daki silisyum dioksit üzerine puskurtme ile kaplanan fotorezist tabakasını gösterir.

5 Şekil 7(c), Şekil 7(b)'deki fotorezist tabakasının CONTACT litografi maskesi ile şekillendirilmiş halini gösterir.

Şekil 7(d), CHF₃/CF₄ gazlarıyla silisyum dioksit-reaktif iyon aşındırma(RIE-SiO₂) yapılarak şekillendirilmiş PECVD silisyum dioksit tabakasını (şekillendirilmiş fotorezist tarafından korunan) gösterir.

10 Şekil 7(e) enduktif eşleşmiş O₂ plazma ile elmas-reaktif iyon aşındırma (RIE-C) yapılarak şekillendirilmiş elmas tabakasını(şekillendirilmiş PECVD silisyum dioksit ile korunan) gösterir.

FIG. 7(f) substrat üzerinde topraklanma için açılan ve elmas membran üzerinde ust elektrot için CHF₃/CF₄ gazlarıyla silisyum dioksit-reaktif iyon aşındırma(RIE-SiO₂) yapılarak açılan

15 alanları gösterir.

Şekil 8(a), Şekil 7(f)'deki ust yuzeye kaplanmış aluminyumu gösterir.

Şekil 8(b), Şekil 8(a)'daki ust yuzeye puskurtme ile kaplanan fotorezist tabakasını gösterir.

Şekil 8(c), Şekil 8(b)'deki fotorezist tabakasının METAL litografi maskesi ile şekillendirilmiş halini gösterir.

20 Şekil 8(d), cihazın son halini duzlemsel arakesit olarak gösterir. Burada kimyasal sıvılarla aşındırılarak şekillendirilmiş aluminyum(şekillendirilmiş fotorezistle korunan) ve şekillendirilmiş fotorezistin oksijen plazma ile temizlenmiş halı de gorulur.

Şekil 9(a), buluşta soylene gora nanokristal elmas membranlı bir CMUT'ın deneysel ve teorik sapma profillerını gosteren grafikdir.

25 Şekil 9(b), buluşta soylene gora ultrananokristal elmas membranlı bir CMUT'ın deneysel ve teorik sapma profillerını gosteren grafikdir.

Şekil 10(a), buluşta soylene gora bir CMUT'ın kapasitans ve rezistans değerlerine karşı frekansı gosteren grafikdir.

30 Şekil 10(b), buluşta soylene gora bir CMUT'ın deneysel ve teorik sapma profillerına karşılık bayas voltajını gosteren grafikdir.

Şekil 11, buluşta soylene göre havada çalışan bir CMUT'ın hidrofonda ölçülen değerlerinin zamanla değişimini gösteren grafikdir.

Şekil 12(a), elmas membranlı CMUT'ın ve sıvı içindeki hidrofona iğnesinin hizalanmış olduğu bir fotoğraftır.

- 5 Şekil 12(b), 2B tarama alanında ölçülen normalize edilmiş tepeden tepeye basınç(dB cinsinden) değerlerinin grafiğidir. Teorik olarak hesaplanan, ana lobu diğer loblardan ayıran çizgiler aynı zamanda ölçüm datasının ustunde de noktalı çizgiler halinde gösterilmiştir.

Şekil 13(a) CMUT yüzeyi üzerinde normalize edilmiş tepeden tepeye basıncın deneysel ve teorik sonuçlarına ait bir grafikdir.

- 10 Şekil 13(b) CMUT'a paralel x eksenı boyunca, $y=15$ mm (Fresnel mesafesi($S=1$)), $y=30$ mm ($S=2$) ve $y=8.2$ mm ($S=0.5$)'de ölçülen deneysel akustik çıkış basıncının grafiğidir.

Şekil 13(c) elmas temelli CMUT'ın, tepeden tepeye 9 V, 36 V, 54 V AC genlikli tayfının grafiğidir.

15

Tercih Edilen Uygulamaların Detaylı Açıklaması

Her ne kadar bu detaylı açıklama orneklendirme amacıyla birçok spesifikasyon içerse de; bu alanda normal yetenekli herhangi biri gorcektir ki aşağıda orneklenen ayrıntılara yapılan bir çok çeşitleme ve değişmeler patent kapsamındadır. Dolayısıyla buluşun tercih edilen ifadesi genelliği kaybetmeden ve kısıtlamalar empoze etmeden one surulur.

Buluşta soylene göre uretilen bir CMUT hucresi Şekil 1'de gosterilmiştir. Bu CMUT hucresi şunlardan oluşur: bir silisyum substrattan oluşan alt pul **100**, bu substrat pulu **100**'un yüzeyine dop edilerek oluşturulan bir substrat elektrot tabakası **102**, bu elektrot tabakası **102** üzerinde en az bir tane oyuk oluşturacak şekilde termal oksitle şekillenen oyuk duvarları **114**, membran fonksiyonu gormek üzere bir elmas tabaka, bu elmas tabakası **142**'nin bir tarafı HTO ile kaplanarak elde edilen ve aynı zamanda bahsedilen oyuk duvarları **114** ve elmas tabaka arasında doğrudan pul yapıştırmaya olanak sağlayacak olan bir ara katman **144**, elmas tabakanın diğer yüzündeki membran elektrot **156**, substrat elektrot bağlantıları **158**'i (Şekil 1'de gosterilmemiştir) oluşturacak olan substrat elektrot tabakası **102**. Elmas tabaka **142** dop edilmiş veya edilmemiş olabilir. Eğer elmas tabaka **142** dop edilmiş ise, bu tabakanın kendisi bir elektrot gibi davranacaktır ve membran elektrot **156**'nin kullanılmasına gerek kalmayacaktır. Bu durumda membran elektrot **156** elektrot bağlantısı

ıçın ya nadiren kullanılır ya da hiç kullanılmaz.

Substrat elektrot katmanı 102, fosfor veya bor katkıları kullanılarak n-tipi veya p- tipi olarak dop edilebilir.

5 NCD, her birinin granül büyüklüğü 10 nm olan nanokristal elmaslardan oluşurken; UNCD, her birinin granül büyüklüğü 3 ile 5 nm arasında değişen ultrananokristal elmastan oluşur.

CMP sırasında 0.3 μm kadar bir inceltme Şekil 5(c)'deki yüksek sıcaklıklı oksit ara katmanı **124**'ün yüzey pürüzünü 0.5 nm'nin altına düşürmeye yeterli olacaktır. Yani başta kaplanan HTO **122** istenilen kalınlıktan 0.3 μm daha fazla olmalıdır.

10 Şekil 8(d)'deki membran elektrot **156** ve substrat elektrot bağlantıları **158**, alüminyum titanyum, platin veya altının herhangi bir kombinasyonu olabilir.

CMUT hücresinin ebatları, çökme voltajı ve merkez frekansı gibi ultrasonik çevirgecin çalışma karakteristikleri göz önünde bulundurularak belirlenebilir.

15 Ara katman **144**'ün kalınlığının elmas katman **142**'ninkine oranı 5 'ı geçmemelidir ki membranin tutumu elmas katman **142** tarafından belirlensin. Bu oran tercihen 0.25 olmalıdır.

20 Şekil 1'de CMUT hücresi üzerinde bazı ebatlar işaretlenmiştir. Burada t_s , alt pul **100**'ün substrat elektrot katmanı 102 ile birlikte substrat kalınlığı; t_g , oyuk duvarları **114**'ün ve dolayısıyla oyukların kalınlığı; t_h , ara katman **144**'ün kalınlığı; t_m , elmas katman **142**'nin kalınlığı; t_e , membran elektrotun kalınlığı; s , substrat elektrot bağlantıları **158** hesaba katılmadan bir CMUT hücresinin destek uzunluğu; r_m , oyuğun ve dolayısıyla membranın aktif kısmının yarıçapı; r_e ise membran elektrot **156**'nin yarıçapıdır.

Buluştaki söylenene göre bir CMUT hücresi için yukarıda tanımlanan boyutlar şöyledir:

- t_s : yaklaşık 500 μm , buluş açısından tam değeri önemsizdir
- t_g : 0.1-5 μm , önceki çalışmalardan da bilindiği gibi
- 25 t_h : 0.1-1 μm
- t_m : 0.3-10 μm
- t_e : 0.2-2 μm , önceki çalışmalardan da bilindiği gibi
- s : 1-100 μm , önceki çalışmalardan da bilindiği gibi
- r_m : 5-1000 μm , önceki çalışmalardan da bilindiği gibi
- 30 r_e : 5-1000 μm , önceki çalışmalardan da bilindiği gibi

Buluştta soyleneiene gore, havada 100 V DC voltaj altında 1.74 MHz frekansında ultrason titreşimleri ureten bir CMUT test amaçlı olarak uretilmiştir. Her bir CMUT hucresinin ebatları şöyledir:

	t_s	: 525 μm
5	t_g	: 0.1-5 μm
	t_h	: 0.23 μm
	t_m	: 1.0 μm
	t_e	: 0.4 μm
	s	: 3 μm
10	r_m	: 60 μm
	r_e	: 30 μm

Şekil 2'deki tek bir CMUT tasarımı ve Şekil 3'teki 1B CMUT dizisi tasarımı bu buluş kullanılarak başarıyla yapılmıştır.

15 Yukarıda bahsı geçen elmas membranlı CMUT'ın mikrouretımı için takip edilen yontemin adımları aşağıdaki gibidir:

1. substratın hazırlanması

- a. 500 μm kalınlığında n-tıptı bir silisyum pulun, Şekil 4 (a)'da gorulduğu üzere CMUT için temel oluşturacak şekilde substrat alt pulu **100** olarak hazırlanması,
- 20 b. iletken bir substrat elektrot katmanı elde edebilmek için (iletkenliği 1 Ω/kare 'den kuçuk olacak şekilde) substrat alt pulu **100** yuzeyinin Şekil 4 (b)'de gosterildiği gibi fosfor ile dop edilmesi (işlem doping fırınında POCl_3 ve O_2 ile 1050°C'de yapılmıştır),
- c. oyukların şekillendirilmesi,
 - 25 i. 1000 °C'de silisyum dioksitin termal oksit olarak substrat elektrot katmanı **102** üzerine Şekil 4(c)'deki gibi kaplanması,
 - ii. bu termal oksit tabakasının Şekil 4(d)'deki gibi fotorezist **106** ile kaplanması,
 - 30 iii. Şekil 4(e)'deki maske **110** kullanılarak korunan fotorezistli bölgeler istenilen oyuk duvarlarının yerlerine tekabul edecek şekilde, UV ışınları **112** ile bahsedilen fotorezist **104** üzerinde aşındırma yapılması,

- iv. bu termal oksit tabakasının fotorezist **108** ile korunmayan kısımlarının, (CHF₃ ve CH₄ gazları kullanılarak) reaktif iyon aşındırması (RIE) **116**'ya maruz kalarak Şekil 4(f)'deki gibi oyuk duvarları **114**'u oluşturması,
- v. arta kalan fotorezist **108**'in Şekil 4(g) deki gibi O₂ plazma kullanılarak kaldırılması,

2. membranın hazırlanması

- a. UNCD veya NCD (reziduel gerilmesi 50 MPa'dan küçük) biçiminde elmas katman **120** ile kaplanmış bir silisyum pulun membran alt pulu **118** olarak kullanılmak üzere Şekil 5(a)'daki gibi hazırlanması veya alınması,
- b. Şekil 5(b)'de gösterildiği gibi 850°C'de düşük basınçlı kimyasal buhar kaplama (SiH₂Cl₂ ve N₂O gazlarıyla) yapılarak bahsedilen elmas katman **120** üzerinde silisyum oksitten oluşan HTO ara katmanı **122**'nin kaplanması,
- c. yüzey pürüzu 0.3 nm civarında olacak şekilde kimyasal mekanik cilalama yapılarak bahsedilen ara katman **124**'un yüzey pürüzünün ve kalınlığının Şekil 5(c)'deki gibi ayarlanması

3. gerekli yüzeyler N₂ plazma aktive edilerek ile 550 °C'de, 10⁻⁴ mbar vakum altında ve 10 kN kuvvetle 7 saat boyunca, ara katman **124** oyuklara bakacak şekilde, ara katman **124** ve oyuk duvarları **114** arasında Şekil 6(a)'daki gibi doğrudan pul yapıştırma yapılması,

4. membran alt pulu **118**'in kaldırılması

- a. isteğe bağlı olarak, Şekil 6(b)'de gösterildiği gibi aşınma zamanını azaltmak için membran alt pulu **118**'in kalınlığının bilenerек 100 µm'ye kadar düşürülmesi,
- b. plazma ile desteklenen kimyasal buhar kaplama (PECVD) yapılarak Şekil 6(c)'de gösterildiği gibi substrat alt pulu **100**'un, koruma sağlanabilmesi amacıyla, SiO₂ koruma katmanı **128** ile kaplanması,
- c. membran alt pulu **128**'in tetrametilamonyum hidroksit ile aşındırılarak Şekil 6(d)'deki gibi kaldırılması,

5. membran elektrot **156** ve substrat elektrot bağlantıları **158**'in oluşturulması

- a. elmas katman **120**'nin, koruma sağlanabilmesi amacıyla, PECVD yapılarak Şekil 7(a)'daki gibi SiO₂ koruma katmanı **130** ile kaplanması,
- b. son bahsedilen koruma katmanı **130**'un Şekil 7(b)'deki gibi fotorezist **132** ile kaplanması,
- c. istenilen membran elektrot şekillerine ve substrat elektrot bağlantı **158** pozisyonlarına karşılık gelen fotorezist bölgeleri **134**'un, Şekil 7(c)'de gösterilen maske **136** ile korunup bu fotorezist **130**'un UV ışınları **112** ile

aşındırılması,

d. son bahsedilen koruma katmanı **138**'in, fotorezist **134** ile korunmayan kısımlarına Şekil 7(d)'deki gösterildiği gibi reaktif iyon aşındırma **116** yapılması,

5 e. Şekil 7(e)'deki gösterildiği gibi enduktif eşleşmiş O₂ plazma kullanılarak elmas **142**'nin, son bahsedilen koruma katmanı **138** ile korunmayan kısımlarına reaktif iyon aşındırma **140** yapılması ve kalan fotorezist **134**'un kaldırılması,

f. Şekil 7(f)'de gösterildiği gibi elmas aşınma durdurucu olarak davranırken; yüksek sıcaklıklı oksit tabakası **144**'e, termal oksit oyuk duvarları **146**'ya ve SiO₂ koruma katmanı **130**'a reaktif iyon aşındırma yapılması,

10 g. Şekil 8(a)'da gösterildiği gibi CMUT'ın ustune puskurtme ile metal kaplama yapılarak alüminyum **148**'in oluşturulması,

h. bahsedilen bu metal kaplama **148**'in Şekil 8(b)'deki gibi fotorezist **150** ile kaplanması,

15 i. istenilen membran elektrot **156** şekillerine ve substrat elektrot bağlantı **158** pozisyonlarına karşılık gelen fotorezist bölgelerinin **154**, Şekil 8'de gösterilen maske **158** ile korunup bu fotorezistin UV ışınları **112** ile aşındırılması,

j. Şekil 8(d)'de gösterildiği gibi metal kaplamanın fotorezist **154** ile korunmayan kısımlarına sıvı kimyasal aşındırma yapılması ve kalan fotorezist **154**'un kaldırılması,

20 basamağındaki HTO'nun kaplanması sırasında SiH₂Cl₂ ve N₂O kullanılır. Ancak N₂O gazı güçlü bir oksitleyici olduğundan elmas katman **120**'ye zarar verebilir. Bu sebeple bu işlem gerçekleştirilirken, fazladan N₂O kalmaması için, normalde 1:5 olan SiH₂Cl₂ : N₂O akış hızı oranı 1:2 olacak şekilde özel olarak ayarlanmıştır.

25 500 µm'lık membran alt pulu **118**'in yalnızca tetrametilamonyum hidroksit ile aşındırılarak kaldırılması on-on iki saat surecektir. Bu durumda isteğe bağlı 4.a. basamağı uygulanırsa aşınma zamanını yaklaşık iki saate kadar düşürecektir.

Buluşun bir uygulamasında; yapışmayı engellemek için bir titanyum katman, bu titanyum katmanın üzerinde difüzyon bariyeri olarak bir platin katman ve bu titanyum katmanın üzerinde altın katman membran elektrot **156** olarak kullanılmıştır.

30 Buluşta söylenene göre CMUT hücre dizileri; dairesel, çokgen veya herhangi başka bir şekilde olabilir ve ilgili şekillerin maskeleri kullanılarak çeşitli modellerle düzenlenebilir. Genellikle, alan başına düşen hücre sayısı açısından en verimli CMUT tasarımı düzenli altıgen şeklinde hücrelerden oluşur. Dairesel hücrelerden oluşan böyle bir dizi Şekil 3'te

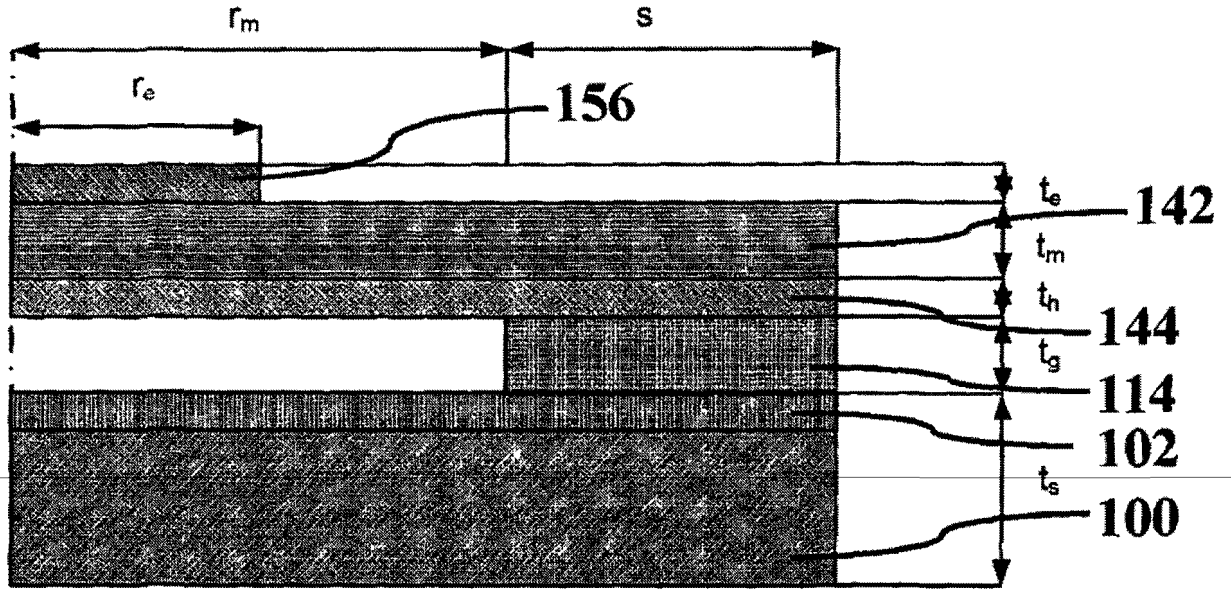
gosterilmiştir.







Biri NCD biri UNCD membranla buluşta açıklandığı gibi üretilen iki CMUT'ın sapma profilleri sırasıyla Şekil 9(a) ve Şekil 9(b)'de gösterilmiştir. Düz çizgiler ölçülen değerleri gösterirken; noktalı olanlar sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen teorik değerleri gösterir.

5 Dairesel biçimli ve 120 µm çaplı 1500 CMUT hücresi içeren, iç yarıçapı 2586 µm olan bir CMUT, hidrofon kullanılarak havada test edilmiştir. Bu CMUT'ın kapasitansı ve rezistansı belli bir frekans aralığında ölçülmüş ve sonuçları Şekil 10(a)'da gösterilmiştir. Sapmaya karşılık bayas voltajı ise beyaz ışıklı interferometre kullanılarak ölçülmüş ve sonuçları Şekil 10(b)'de gösterilmiştir. Düz çizgiler ölçülen değerleri gösterirken; noktalı olanlar sonlu 10 elemanlar yöntemiyle elde edilen teorik değerleri gösterir. Dahası bu CMUT üzerine, 100 V'luk bir DC voltaj ve 1.74 MHz frekanslı 35 V tepeden tepeye voltajlı sinüzoidal bir AC voltaj 5 periyotluk darbe şeklinde uygulanmıştır. Hidrofon, CMUT yüzeyinden 11 mm uzaklıktaki CMUT'ın merkez normaline göre hizalanmıştır. Hidrofondan ölçülen değerler Şekil 11'de görüldüğü gibi zamana göredir.

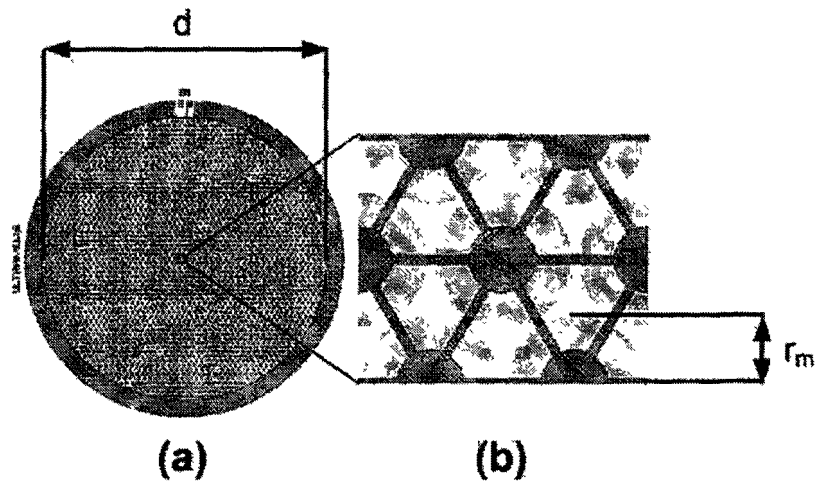
15 Dairesel biçimli ve 80 µm çaplı 2708 CMUT hücresi içeren, iç yarıçapı 2586 µm olan bir CMUT, hidrofon kullanılarak ayçiçek yağında Şekil 12(a)'daki gösterildiği üzere test edilmiştir. Bu CMUT üzerine, 100 V'luk bir DC bayas voltaj ve 3.5 MHz frekanslı 36 V tepeden tepeye voltajlı sinüzoidal bir AC voltaj 10 periyot boyunca uygulanmıştır. İki boyutlu bir ultrason taraması yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 12'de gösterilmiştir. Dahası bu 20 CMUT'ın merkez normali boyunca normalize edilmiş tepeden tepeye basınç ölçülmüş ve sonuçları Şekil 13(a)'da gösterilmiştir. Düz çizgiler ölçülen değerleri gösterirken; noktalı olanlar sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen teorik değerleri gösterir. Ayrıca iki boyutlu tarama verisi ve hidrofonun kalibrasyon değerleri kullanılarak CMUT'a paralel doğrular boyunca CMUT'ın akustik çıkış basıncı Şekil 13(b)'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. 15 mm 25 (Fresnel mesafesi, $S=1$), 30 mm ($S=2$), 8.2 mm ($S=0.5$) uzaklığındaki çizgiler boyunca alınan datalar Şekil 13(b)'de gösterilmiştir. $S=0.5$ 'teki simetrik çift tepe ve $S=2$ 'deki düşük genlikle görülen tek bir tepe, teoriden beklendiği gibi bulunmuştur. CMUT ayrıca CMUT yüzeyinden 54.1 mm uzaklığa merkez normal boyunca yerleştirilmiş bir hidrofonla da test edilmiştir. 100 V'luk bir DC voltaj ve sinüzoidal AC voltajlar bu CMUT üzerine 30 periyot 30 boyunca uygulanmıştır. Her bir voltaj değeri, 1 MHz'ten 8 MHz'e 100 kHz'lık adımlarla çeşitlendirilerek; tepeden tepeye değerleri 9, 36 ve 54 V olan farklı AC voltajlar kullanılmıştır. Bu uç voltaj değeri için, CMUT'ın çıkış genliğine karşılık frekans grafiği Şekil 13(c)'deki gibi elde edilmiştir.

Bu buluşun prensipleriyle çeşitli somut örnekler ve uygulamalar yapılabilir. Bu sebeple 35 bu buluşun kapsamı; yalnızca yukarıdaki örneklerle değil, aynı zamanda aşağıdaki istemlerle belirlenir.

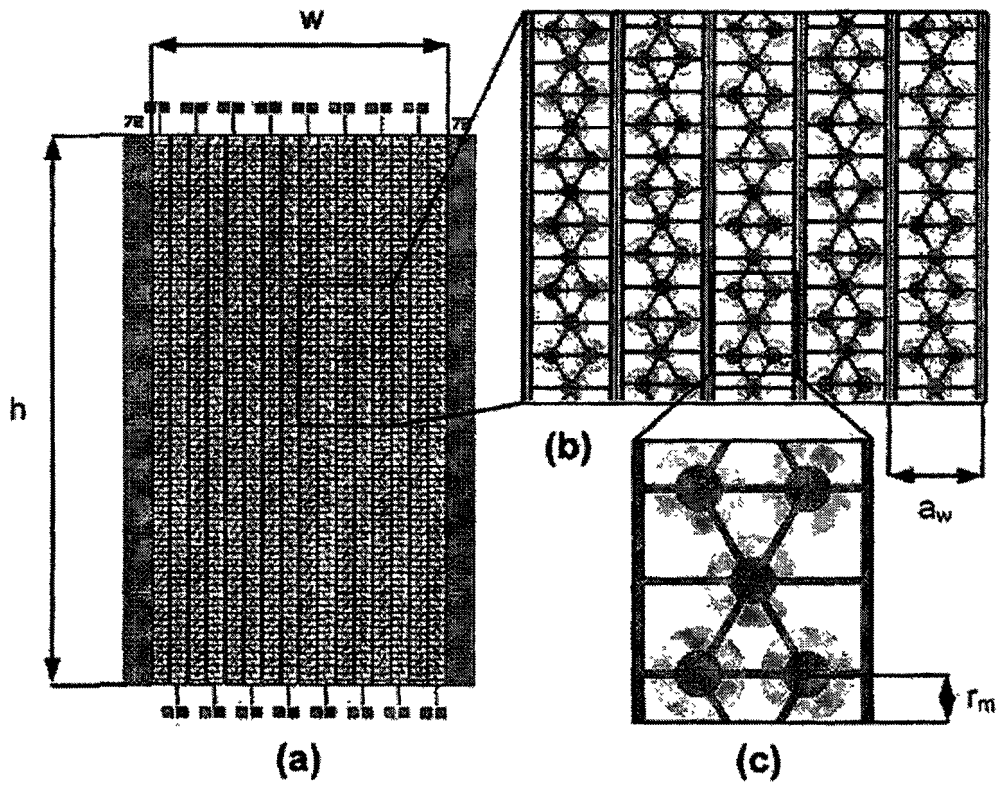


-  Silisyum substrat
-  Dop edilmiş Silisyum substrat
-  Termal büyütölmüş silisyum dioksik oyuk desteği
-  Yüksek sıcaklıklı silisyum dioksit ara katmanı
-  Elmas membran
-  Alüminyum metal

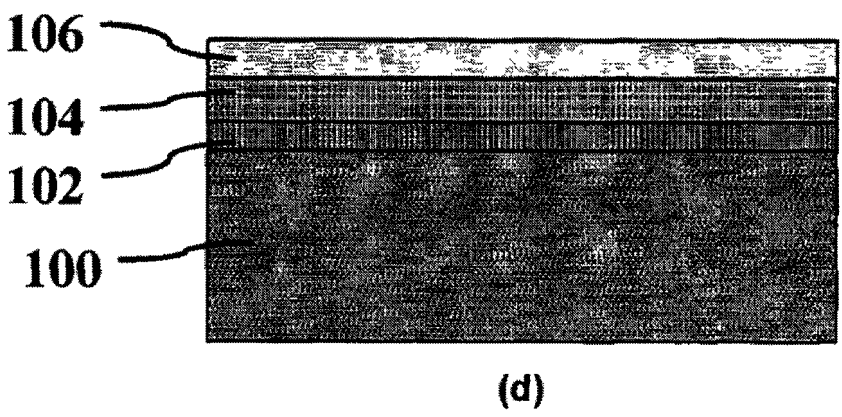
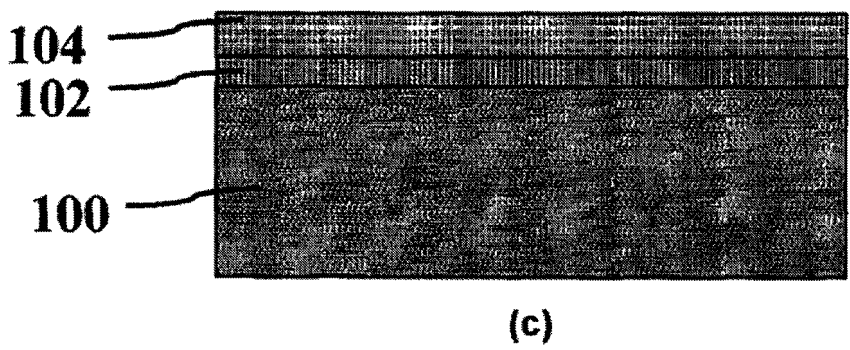
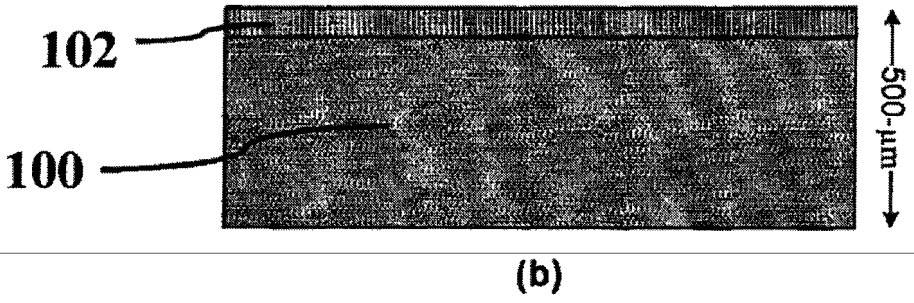
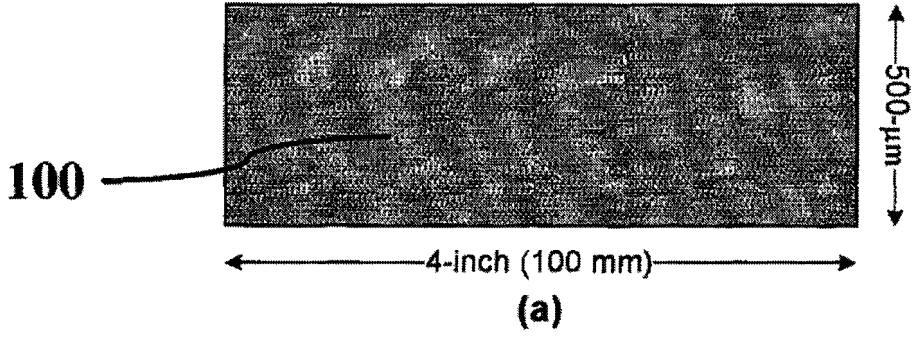
Şekil 1



Şekil 2

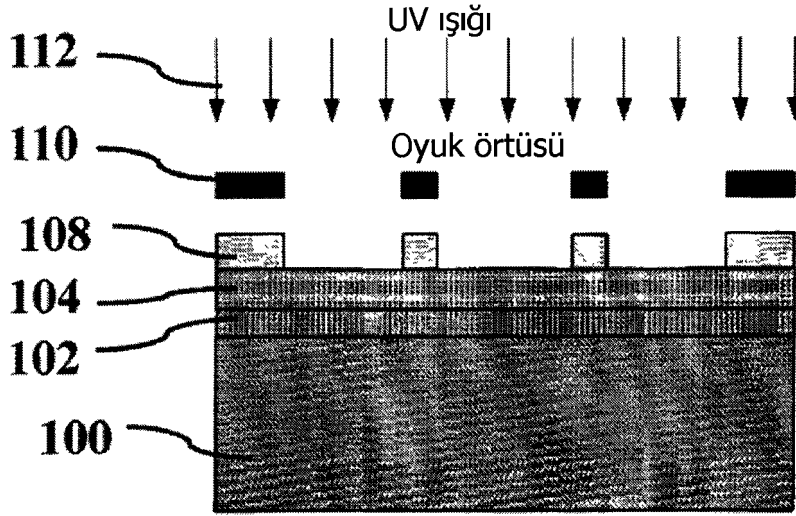


Şekil 3

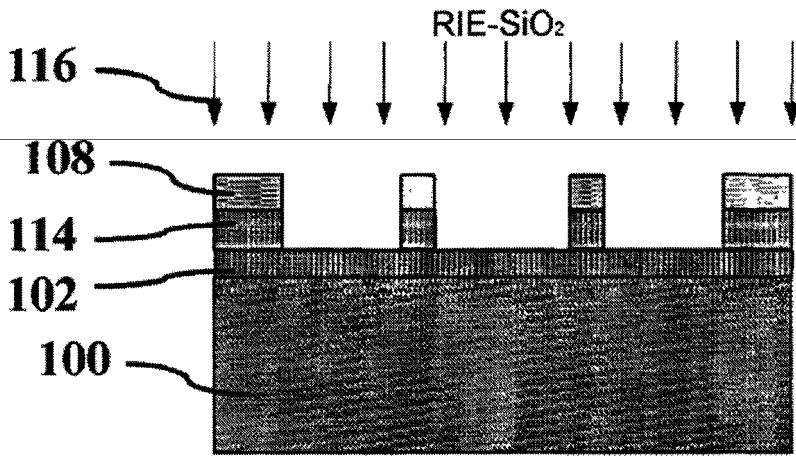


Şekil 4

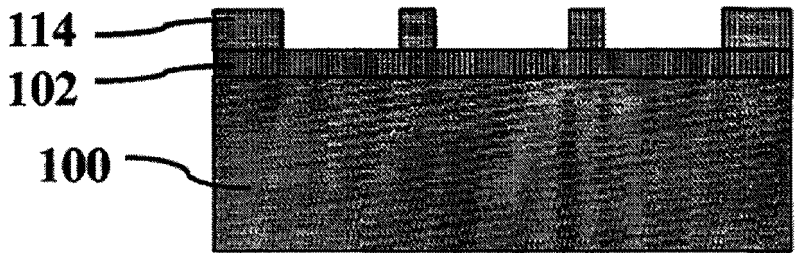
4/18







(e)



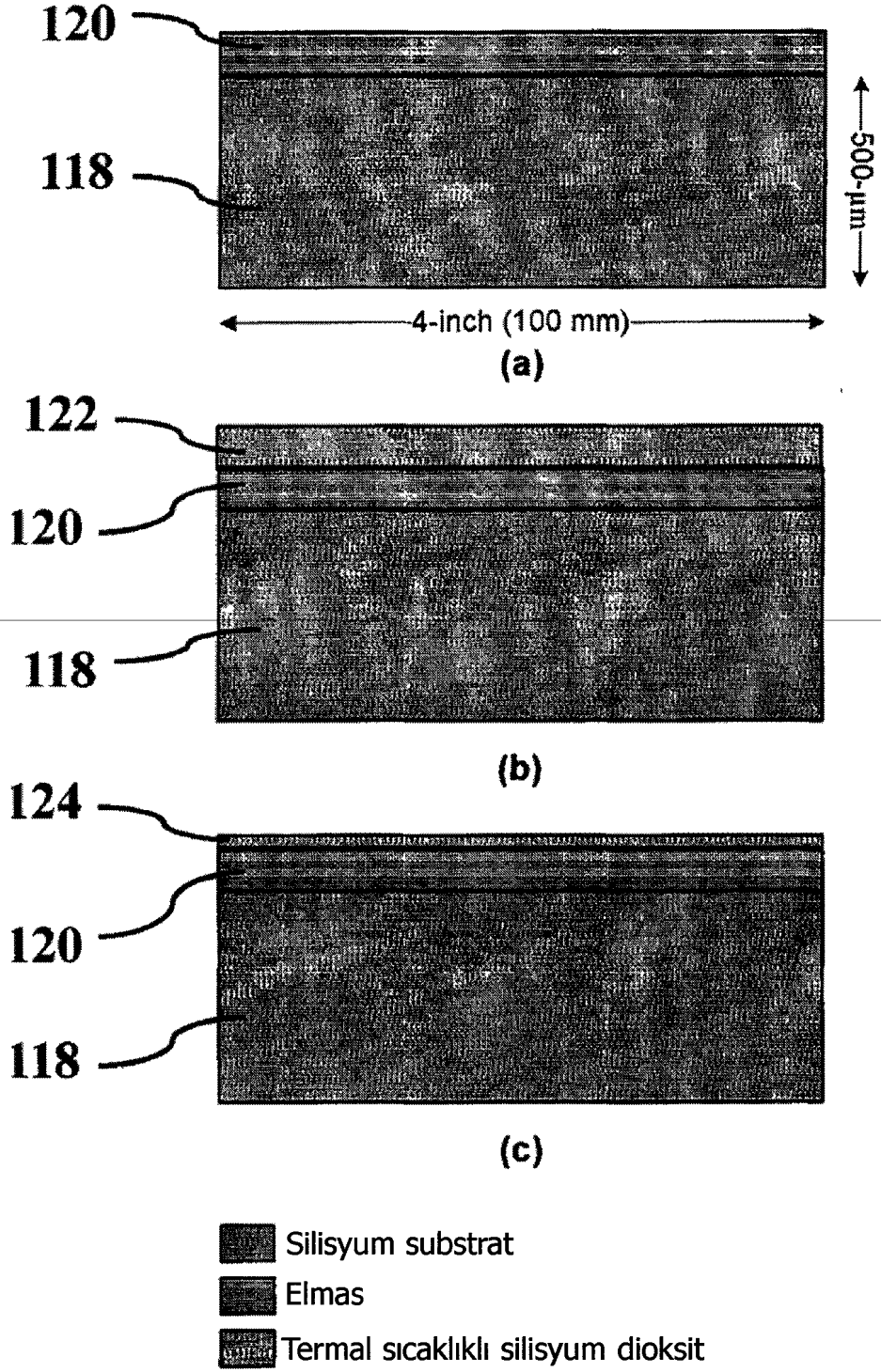
(f)



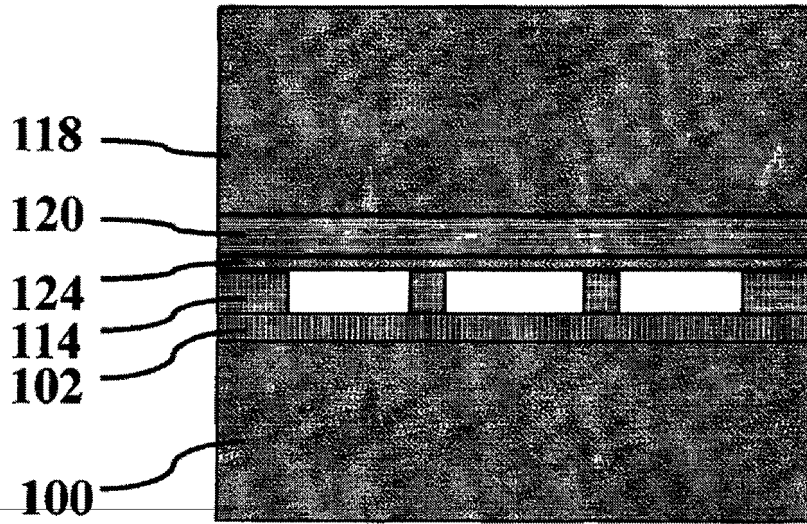
(g)

-  Silisyum substrat
-  Dop edilmiş Silisyum substrat
-  Termal büyütülmüş silisyum dioksit
-  Fotorezist

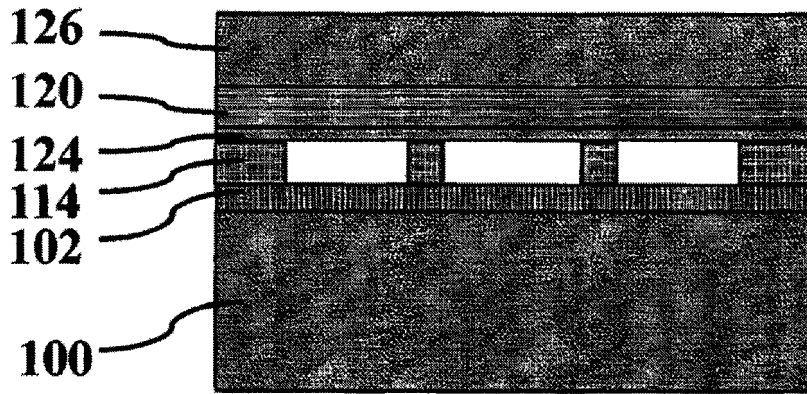
Şekil 4 devamı



Şekil 5

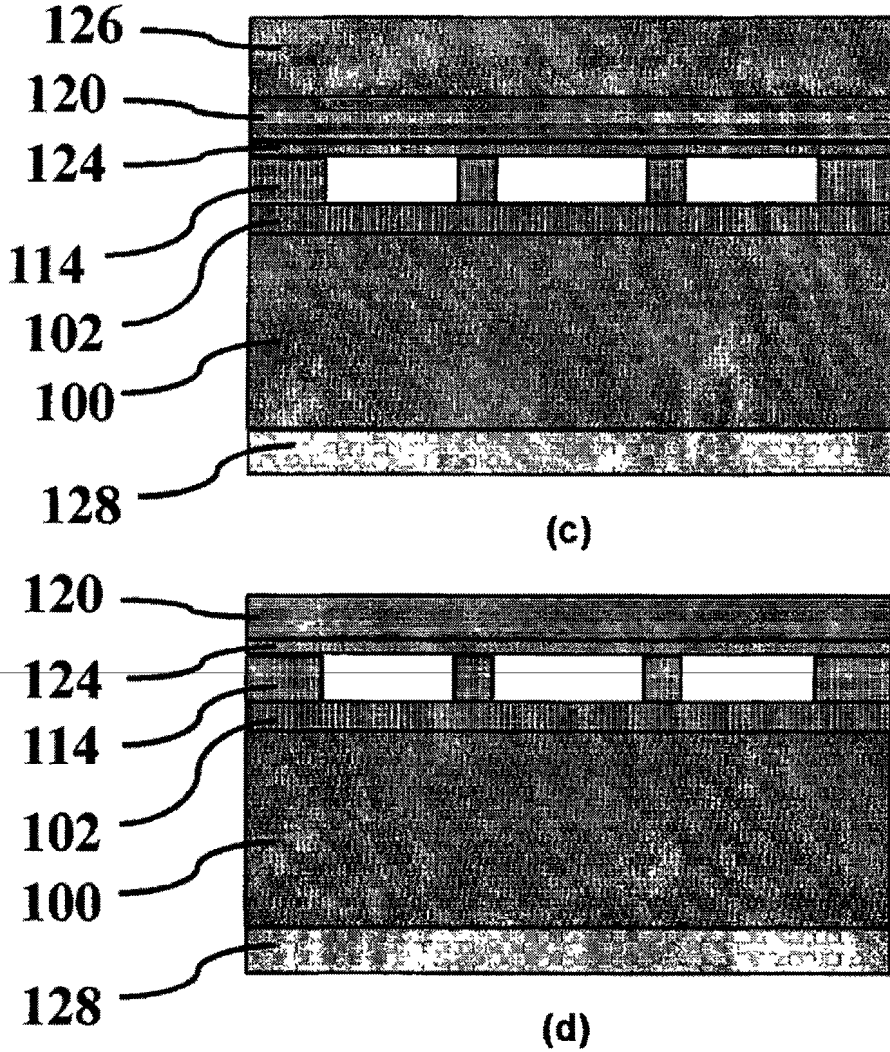








(a)



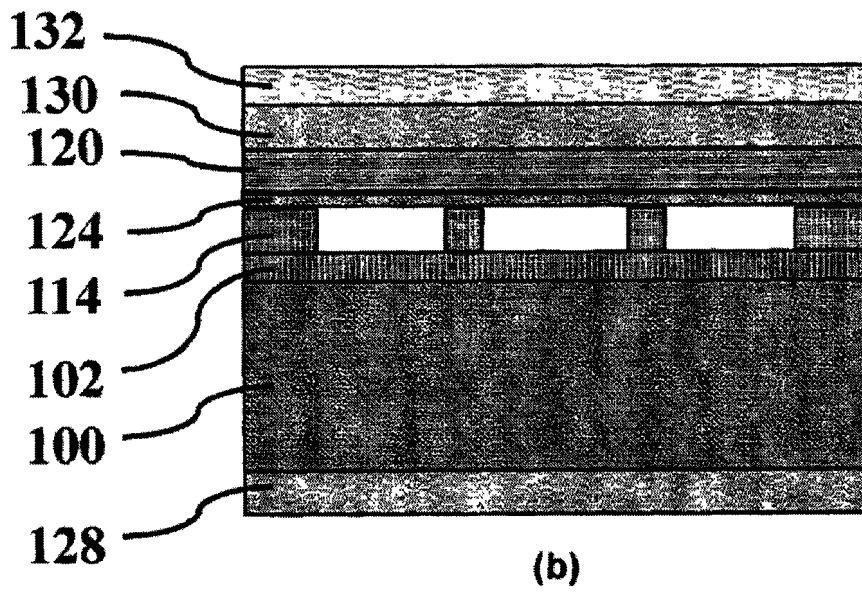
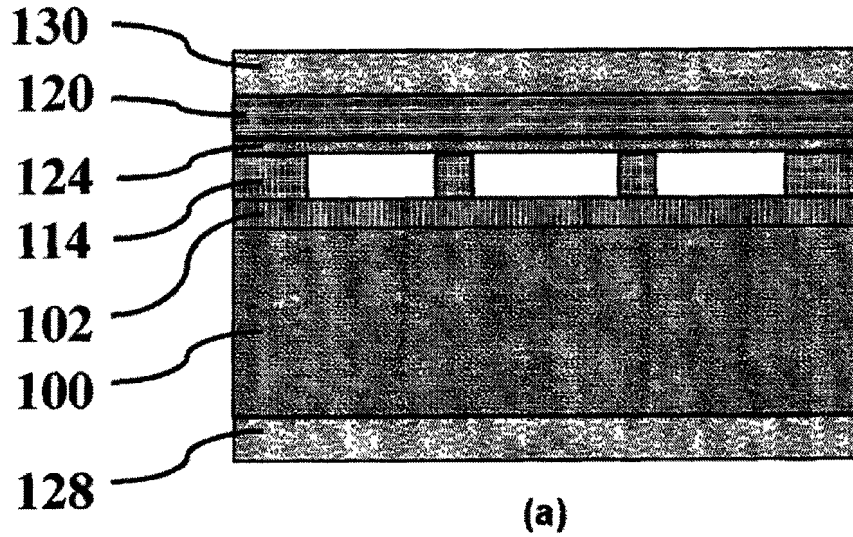
(b)

Şekil 6

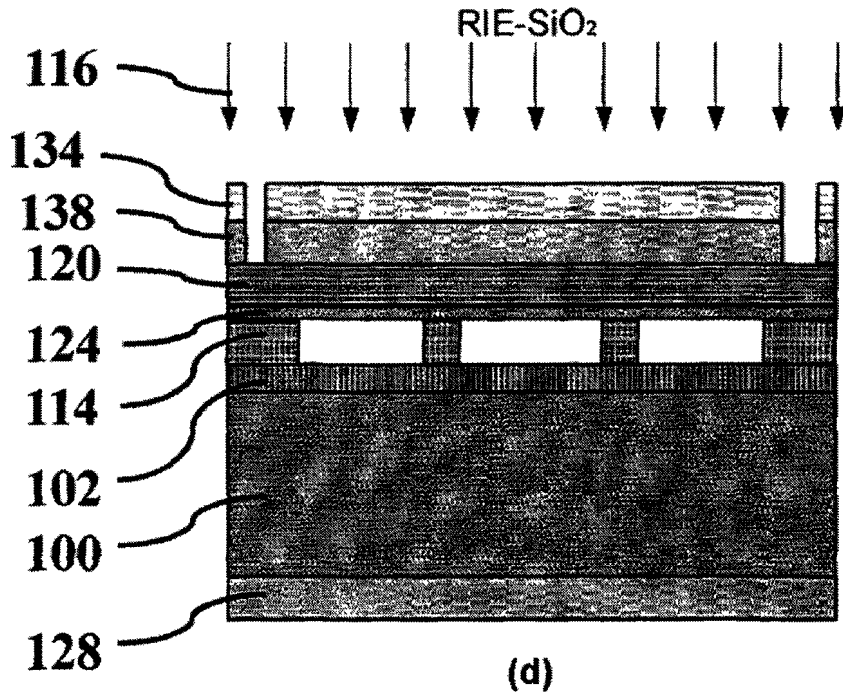
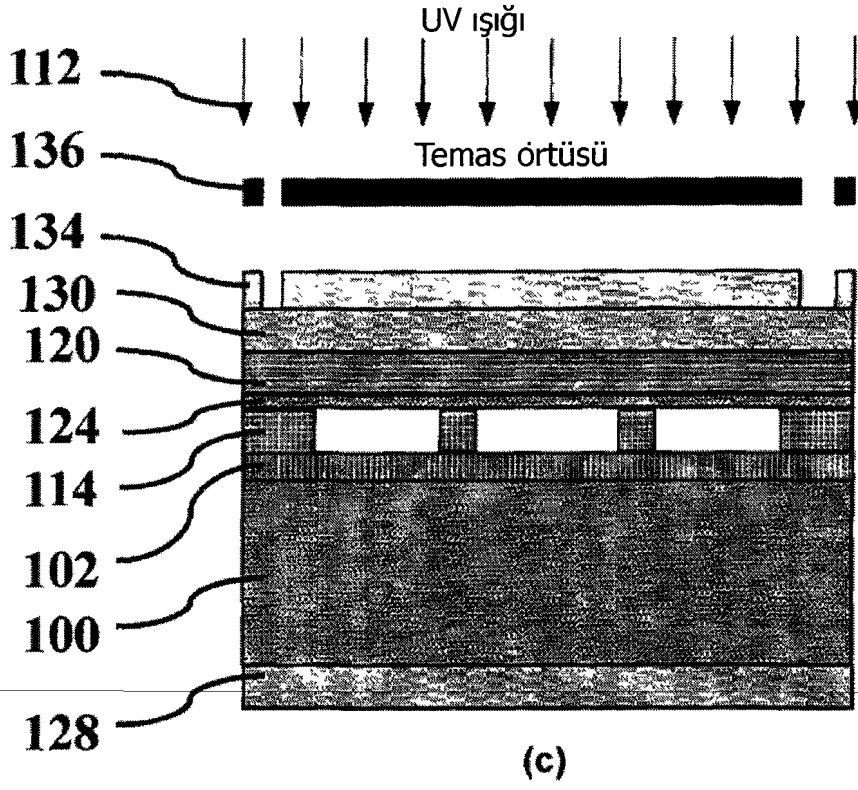


-  Silisyum substrat
-  Dop edilmiş Silisyum substrat
-  Termal büyütülmüş silisyum dioksit
-  Yüksek sıcaklıklı silisyum dioksit
-  Elmas
-  Plazma ile desteklenmiş kimyasal buhar kaplama (PECVD) silisyum dioksit

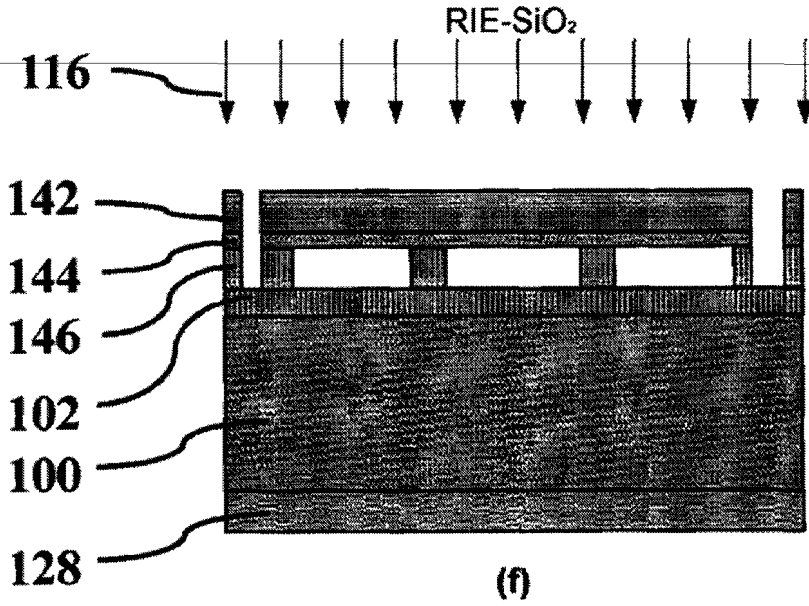
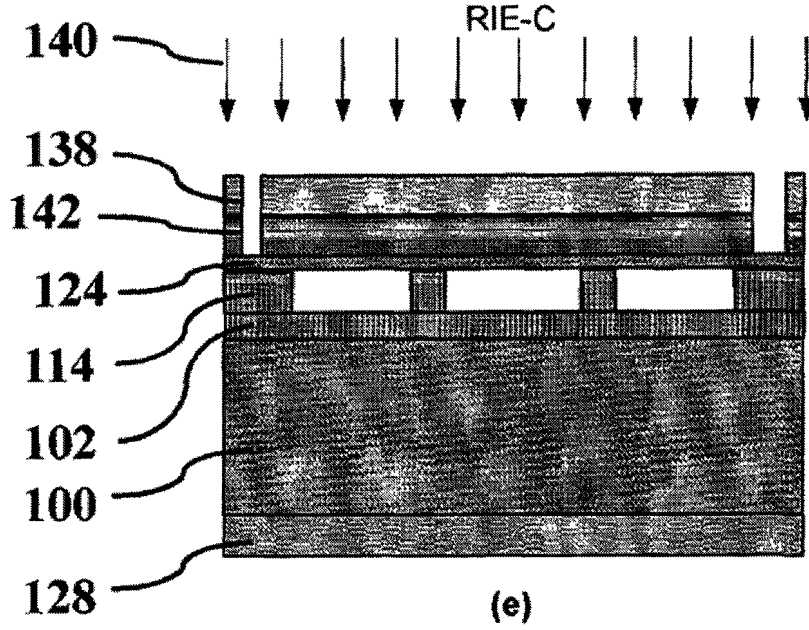
Şekil 6 devamı










Şekil 7

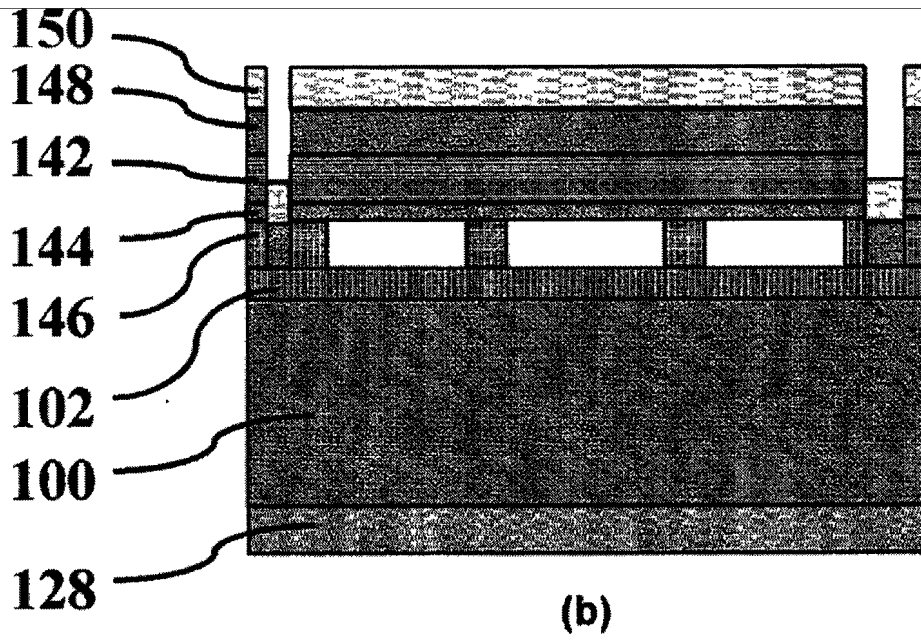
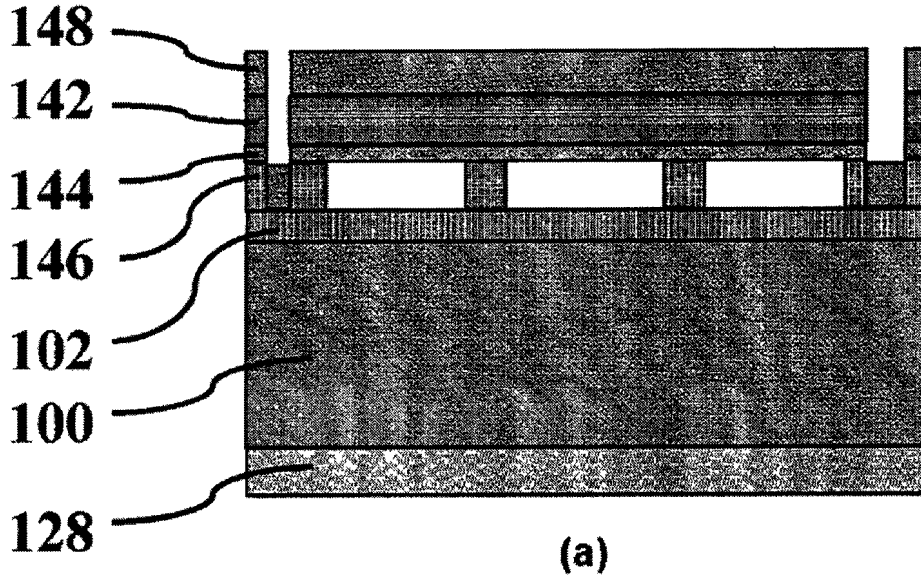


Şekil 7 devamı

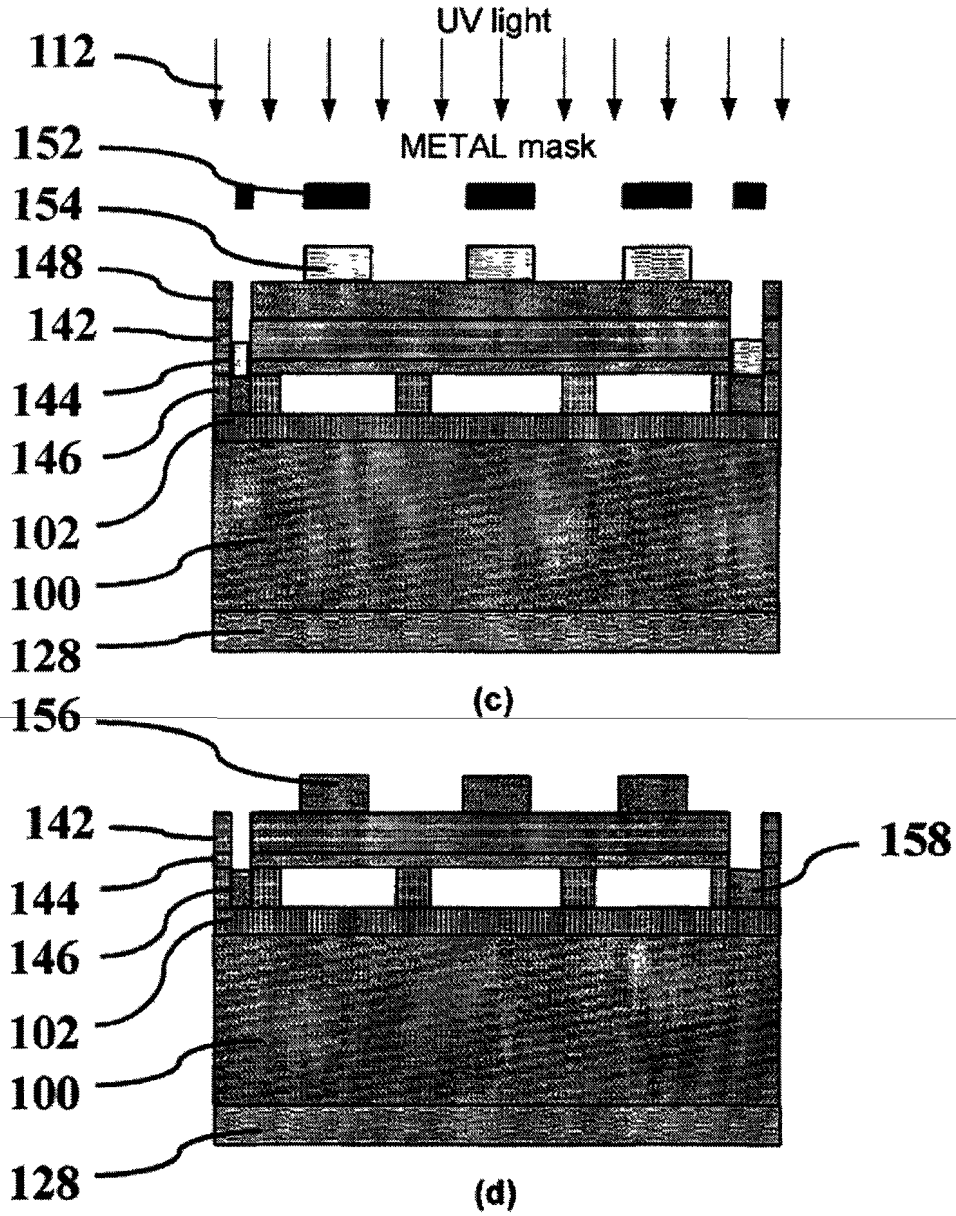


-  Silisyum substrat
-  Dop edilmiş Silisyum substrat
-  Termal büyütülmüş silisyum dioksit
-  Yüksek sıcaklıklı silisyum dioksit
-  Elmas
-  Plazma ile desteklenmiş kimyasal buhar kaplama (PECVD) silisyum dioksit
-  Fotorezist

Şekil 7 devamı



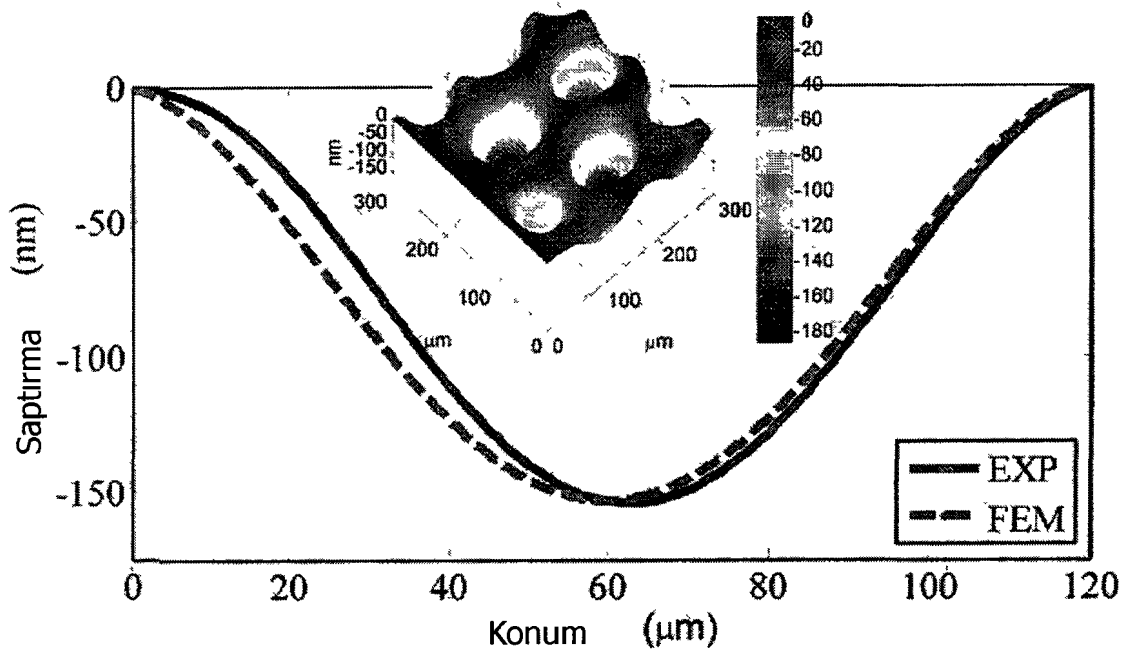
Şekil 8



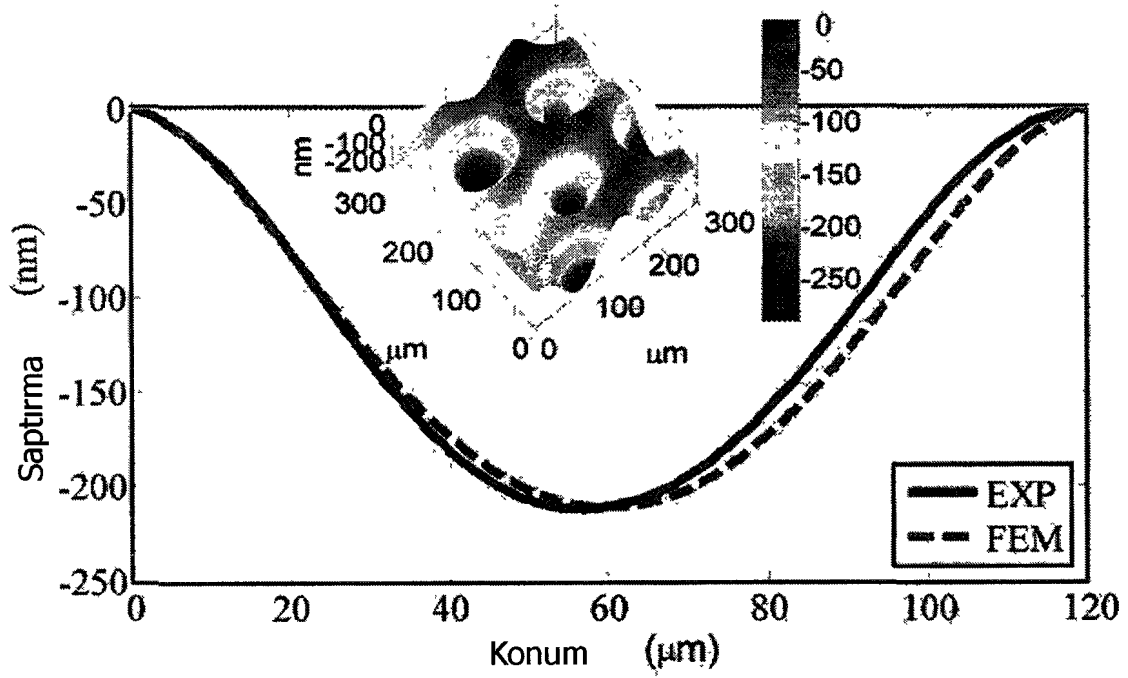
- Silisyum substrat
- Dop edilmiş Silisyum substrat
- Termal büyütülmüş silisyum dioksit
- Yüksek sıcaklıklı silisyum dioksit
- Elmas
- Plazma ile desteklenmiş kimyasal buhar kaplama (PECVD) silisyum dioksit
- Fotorezist
- Alüminyum metal

Şekil 8 devamı

13/18

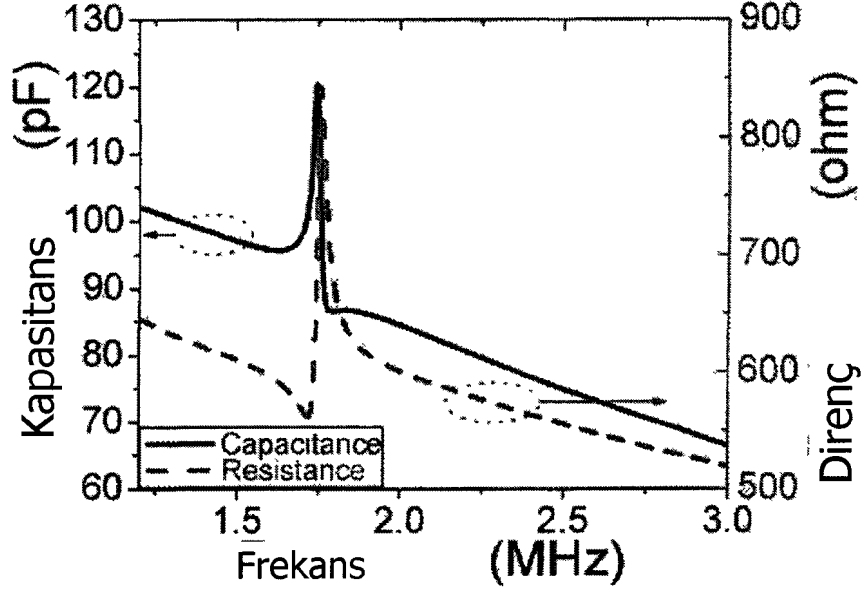


(a)

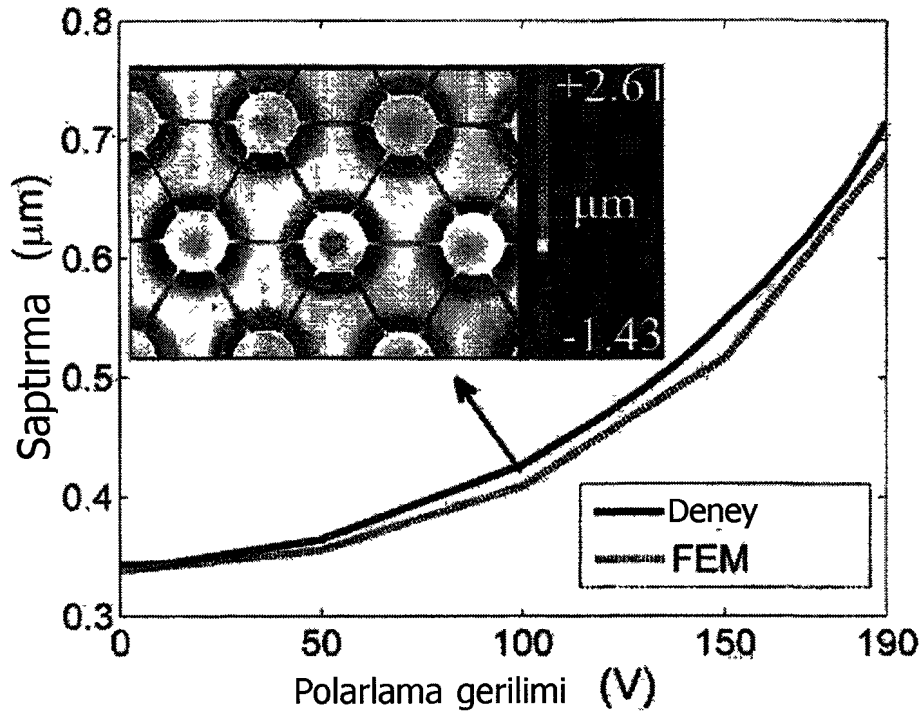


(b)

Şekil 9

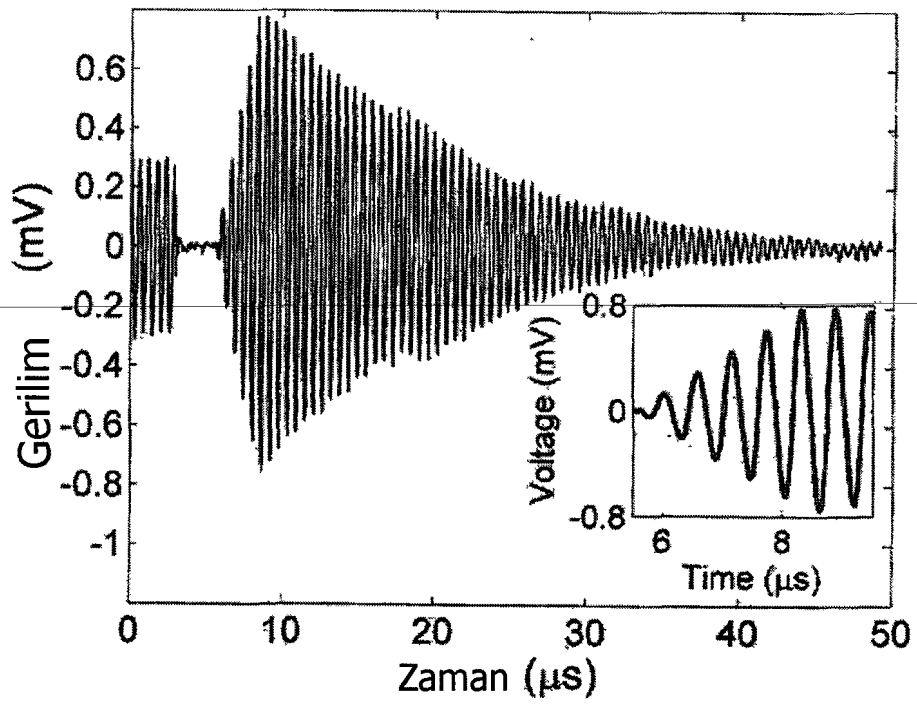


(a)

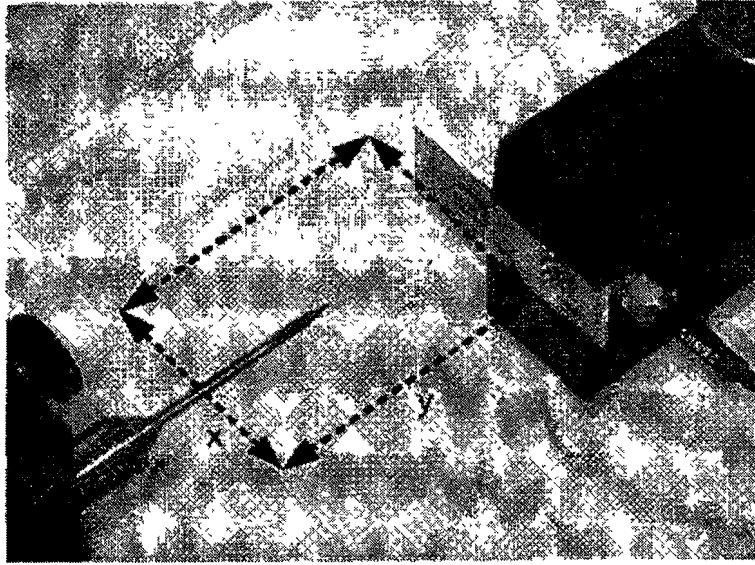


(b)

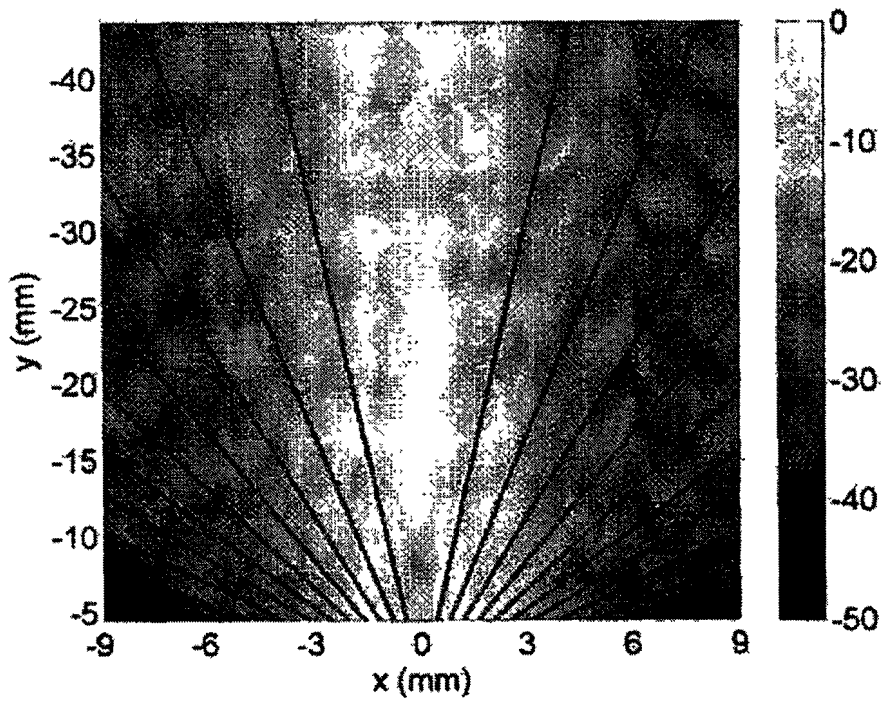
Şekil 10



Şekil 11

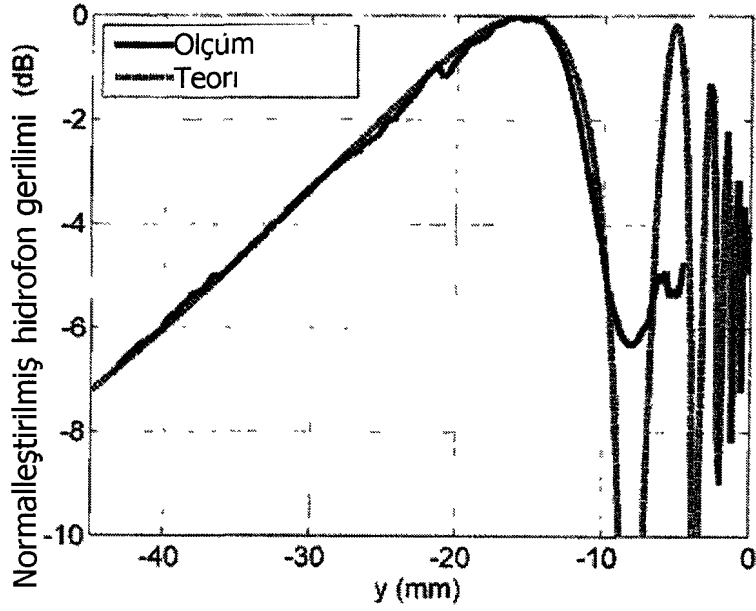


(a)

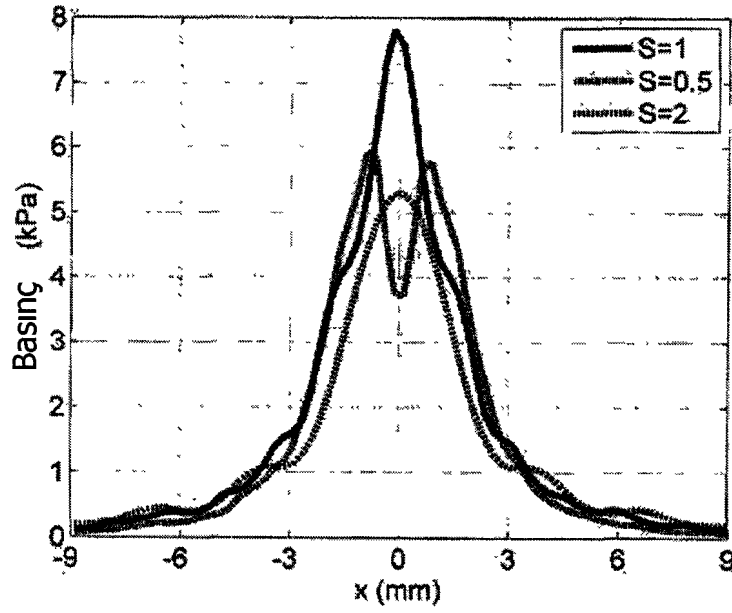


(b)

Şekil 12

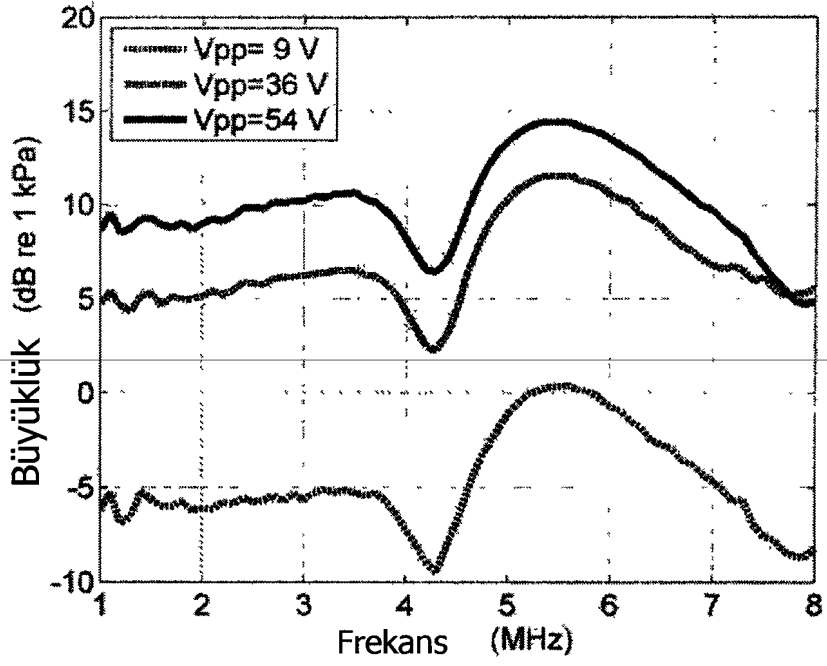


(a)



(b)

Şekil 13



(c)

Şekil 13 devamı