



Birden Fazla Karbon Fiber Elektrot İçeren Ultra-Küçük Probların Üretimi ve karakterizasyonu

Fabrication and characterization of ultramicro probes with multiple carbon fiber electrodes

Mustafa Şen

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye
mustafa.sen@ikc.edu.tr

Özetçe— Bu çalışmada çoklu karbon fiber elektrot içeren ve sahip oldukları küçük boyuttan dolayı hücre ve dokularda dopamin gibi elektroaktif moleküllerin bir çok noktada eş zamanlı lokal algılanmasında kullanılacak ultra-mikro problemlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Problemlerin üretiminde üçlü cam kılcal boruları kullanılmıştır. Kısaca, cam kılcalın her bir borusuna bir karbon fiber yerleştirilmiş ve daha sonrasında cam kılcalların karbon fiberlere ısı ile işlem ile geçirilmesi şeklinde problemlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen problemler, karbon fiber elektrot yüzeylerinin farklı enzim veya antikorlarla modifikasyonu ile farklı moleküllerin algılanmasında kullanım potansiyeli mevcuttur.

Anahtar Kelimeler — *Karbon fiber, elektrot dizisi, prob tipi elektrot*

Abstract—In this study, probes containing multiple carbon fibers were be fabricated and these probes enable local analysis in cells and tissues due to small size. In order to fabricate such probes, carbon fibers were inserted into three barrel glass capillaries as one in each barrel and then the glass capillary was pulled using a micropuller to coat the carbon fibers with glass. The probes have the potential to be used for detection of different analytes when each carbon fiber electrode is modified with different enzymes or antibodies.

Keywords — *Carbon fiber, electrode array, probe type electrode*

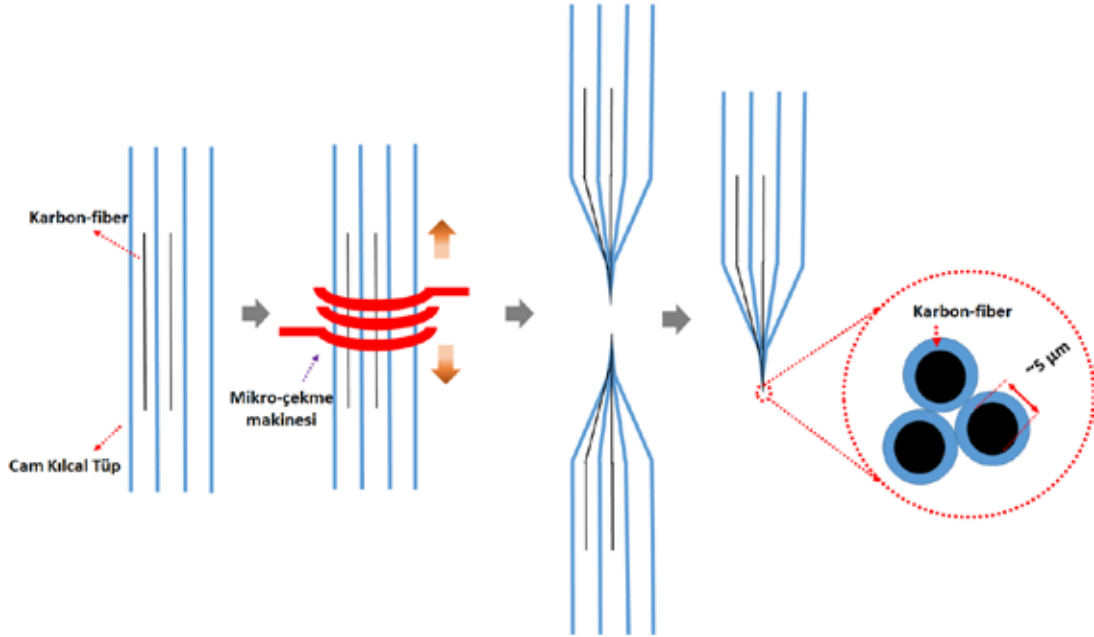
I. GİRİŞ

Karbon temelli elektrotlar dopamin gibi nörotransmitterlerin salımının elektrokimyasal analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır¹⁻³. Ayrıca bu tip elektrotlar, platin veya altın gibi metaller ile elektrokimyasal olarak kaplanabilir ve reaktif oksijen türlerinin (ROS), oksijen veya NO gibi değişik elektroaktif moleküllerin

deteksiyonunda kullanılabilirler⁴⁻⁶. Birden fazla karbon fiber elektrot içeren problemler, lokal olarak birden fazla noktada elektroaktif moleküllerin analizini olası hale getirerek elde edilen datanın detaylandırılmasını sağlayabilirler. Bununla birlikte karbon fiber elektrotların yüzeylerinin farklı antikor veya DNA problemleri ile modifiye edilmesiyle de birden fazla analitin algılanması da gerçekleştirilebilir. Bu çalışma kapsamında çoklu karbon fiber elektrot içeren ve sahip oldukları küçük boyuttan dolayı hücre ve dokularda dopamin gibi elektroaktif moleküllerin bir çok noktada eş zamanlı lokal algılanmasında kullanım potansiyeline sahip ultra-mikro problemlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen problemlerin birden fazla alanda farklı uygulamalar için yüksek kullanım potansiyeli mevcuttur. Karbon fiber elektrotlar çeşitli şekillerde üretilmekle birlikte bu çalışma kapsamında üçlü cam kılcal tüplerin karbon fiberlere geçirilmesi şeklinde bu elektrotların üretimi gerçekleştirilmiştir.

II. YÖNTEM VE SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı birden fazla noktada algılama yapabilen karbon fiber elektrot içeren elektrot dizisi (array) problemlerin üretimidir. İlk olarak birden fazla karbon fiber elektrot içeren problemlerin üretimi için mikroçekim parametrelerinin optimizasyonu ve elektrokimyasal karakterizasyonu yapılmıştır. Karbon fiber elektrotlar çeşitli şekillerde üretilmekle birlikte bu çalışmada daha çok çoklu cam kılcallarının karbon fiberlere geçirilmesi şeklinde üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Genel olarak karbon fiberlerin cam kılcalların (capillary) iç kısmına kolayca yerleştirilmesi için Ag pastası kullanılarak 180 °C derece üzerinde sıcaklıkta ~5µm çapında karbon fiberler bakır tellerine tutunması sağlanmıştır. Daha sonra karbon fiberler cam kılcalları içine sabitlendikleri bakır teller yardımıyla tersten tek tek yerleştirilerek mikçekme yöntemiyle prob üretimi için hazır hale



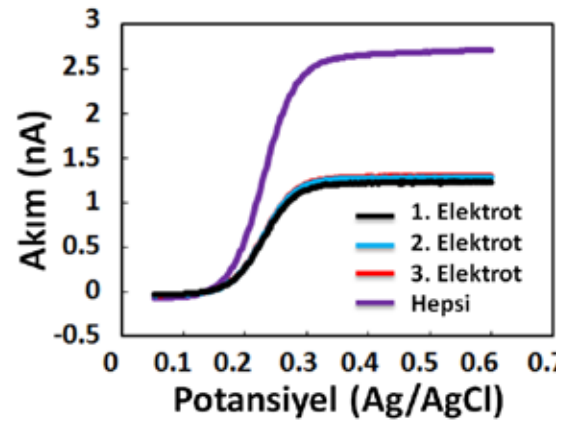
Şekil 1. Birden fazla karbon fiber elektrot içeren probaların mikroçekme makinesiyle üretimi.

getirilmiştir. Geçirme işlemi mikroçekme makinesi (PC-10 puller, Narishige, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bu kısımda çekme parametreleri karbon fiberlere zarar vermeden en uygun uç uzunluğunu verecek şekilde optimize edilmiştir. Cam kılcalların karbon fiberlere geçirilmesi işlemini takiben kaplanmamış karbon fiber uçlar bir makas yardımıyla kesilmiş ve daha sonrasında kaplı bölgeye kadar elektrotların uçları "microgrinder" makinesiyle zımparalanarak prob ucunda disk elektrotlar elde edilmiştir (Şekil 2). Daha sonrasında disk elektrot içeren probaların elektrokimyasal davranışı elektroaktif FMA (ferrocenemethanol) içeren PBS solüsyonu ile elektrokimyasal olarak analiz edilmiştir. Bu analiz için 1 mM FMA içeren PBS çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözelti içerisinde üçlü KFE probalarda bulunan elektrotların ilk olarak tek tek ve daha sonrasında toplu olarak dönüşümlü voltammogramları (CV) bir potansiyostat (Autolab PGSTAT204, Metrohm, İsviçre) yardımıyla elde edilmiştir. Bu noktada çalışma elektrotunun potansiyeli 0 ile +0.5 V (vs Ag/AgCl) arasında



Şekil 2. Üç adet karbon fiber elektrot içeren proba ait bir resim.

50 mV/s hızında taranarak akım ölçümü yapılmıştır. Şekil 3'ten anlaşılacağı gibi üçlü probalarda bulunan elektrotların her biri ayrı ayrı benzer cevabı vermiştir. Bu da çalışmada sunulan üretim metodunun sayısal olarak analiz edilebilen disk elektrot içeren elektrot dizisi (array) üretimi için uygun olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada geliştirilen üretim metodu, çoklu tüp içeren cam kılcallarının kullanımıyla üçten fazla sayıda elektrot içeren elektrot dizisi (array) üretiminde de kullanılabilir. Her bir elektrottan elde edilen akım miktarının 1.3 nA seviyesinde olduğu gözlemlenmiş ve bu akım seviyesinin teorik olarak hesaplanan akımdan biraz düşük olduğu saptanmıştır (~1.5 nA). Teorik maksimum akım hesaplamada mikro disk için "I = 4nFDcCr" formülü kullanılmıştır (I: akım; n: elektron sayısı ($n_{K3Fe(III)(CN)_6} = 1$); F: Faraday sabiti (96485,329 s A/mol);



Şekil 3. Üç adet karbon fiber elektrot içeren probalara ait dönüşümlü voltrammogramlar.



D: Difüzyon sabiti ($D_{K_3Fe(III)(CN)_6} = 6,7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$); C: Analit konsantrasyonu ($C_{K_3Fe(III)(CN)_6} = 0,5 \text{ mM}$); r: elektrot yarıçapı ($r = 40 \text{ } \mu\text{m}$). Gözlemlenen farkın elektroaktif moleküllerin difüzyonunda elektrot dizisi (array) yüzeyinin tekli elektrotla nazaran daha geniş olmasına bağlı farklılık göz önünde bulundurulduğunda normal olduğu düşünülmektedir. Projenin ilerleyen bölümlerinde problemlerin elektrokimyasal davranışları simülasyonla analiz edilerek deneysel davranışla teorik davranış daha detaylı karşılaştırılabilecektir. Bu bulgular ışığında üretilen karbon fiber mikro elektrotların sayısal algılamada kullanımının uygun olduğu kanısına varılmıştır. Bu yöntemle elektrokimyasal davranış sayısal (quantitative) olarak analiz edilebilen sızdırmaz birden fazla karbon fiber elektrot içeren problemlerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında mikroçekim parametrelerinin karbon fiber elektrot büyüklüğüne etkileri incelenecektir. Karbon fiberler ısıya bağlı uzaması ve incelerek boyutlarının nano seviyelere kadar küçültülmesi mümkündür. Dolayısıyla önerilen metotla birden fazla elektrot içeren nanoprobaların üretimi hedeflenebilir. Bu şekilde günümüzde daha çok revaçta olan nanoteknoloji ile bağlantılı olarak hücre veya doku gibi biyolojik örneklerin nano seviyede birden fazla noktada analizi olası hale gelebilir. Bu da hücre davranışının hücre yüzeyinde birden fazla noktada göstermiş olduğu davranış çeşitliliğinin ve bu çeşitliliğe neden olan faktörlerin araştırılmasına kapı aralar.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında geliştirilen strateji ile maliyeti düşük, elektrokimyasal davranış sayısal olarak analiz edilebilen birden fazla karbon fiber elektrot (ultra küçük mikroelektrot; çap: $\sim 5 \mu\text{m}$) içeren elektrot dizisi (array) problemler geliştirilmiştir. Bu problemler sahip oldukları

küçük boyut ve çok sayıda elektrottan dolayı özellikle tek hücrelerde birden fazla noktada lokal olarak elektrokimyasal analizde kullanılabileceği düşünülmektedir. Geliştirilen problemlerin özellikle nöron hücrelerin saldıkları nörotransmitterlerin birçok noktada lokal olarak algılanmasında yüksek kullanım potansiyeli bulunmaktadır.

III. TEŞEKKÜR

Bu çalışma İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü (No. 2015-GAP-MÜMF-0013) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Zestosi A.G., Jacobs, C.B., Trikantopoulos, E., Ross, A.E., Venton, B.J., "Polyethylenimine carbo nanotube fiber electrodes for enhanced detection of neurotransmitters", *Anal. Chem.* 86(17): 8568-8575, 2014.
- [2] Huffman, M.L., Venton, B.J., "Carbon-fiber microelectrodes for in vivo applications", *Analyst*, 134(1): 18-24, 2009.
- [3] Taylor, I.M., Robbins, E.M., Catt, K.A., Cody, P.A., Happe, C.L., Cui, T.C., "Enhanced dopamine detection sensitivity by PEDOT/graphene oxide coating on in vivo carbon fiber electrodes" *Biosens. Bioelectrons.*, available online 27 May 2016.
- [4] Hrbac, J., Gregor, C., Machova, M., Kralova, J., Bystron, T., Ciz, M., Loiek, A., "Nitric oxide sensor based on carbon fiber covered with nickel porphyrin layer deposited using optimized electropolymerization procedure" *Bioelectrochemistry*, 71(1): 46-53, 2007.
- [5] Erkal, J.L., Sekimovic, A., Gross, B.C., Lockwood printed microfluidic devices with integrated versatile and reusable electrodes, *Lab Chip*, 14: 2023-2032, 2014.
- [6] Şen, M., Takahashi, Y., Matsuemae, Yoshiharu, Horiguchi, Y., Kumatani, A., Ino, K., Shiku, H., Matsue, T., "Improving the electrochemical imaging sensitivity of scanning electrochemical microscopy – scanning ion conductance microscopy by using electrochemical Pt deposition", 87(6): 34484-3489, 2015.