



Mikroelektronik gaz boşalma hücresinde *gap*' in elektriksel ve optiksel karakteristiklerinin incelenmesi

Hilal Yücel KURT, Özlem Fikirli, Adem Yurtseven

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Teknikokullar/ANKARA

ÖZET

Anahtar Kelimeler:
GaP yarıiletken, mikroelektronik gaz boşalma hücresi, *IR* aydınlatma

Bu çalışmada, *GaP* yarıiletken katodun, hava ortamında düzlemsel bir gaz boşalma hücresindeki elektriksel ve optiksel karakteristiği mikroelektronik gaz boşalma hücresinde (*MGBH*) incelenmiştir. Farklı elektrotlar arası mesafeler için ($d=45 \mu\text{m}$, $90 \mu\text{m}$, $143 \mu\text{m}$, $240 \mu\text{m}$, $323 \mu\text{m}$, $445 \mu\text{m}$ ve $525 \mu\text{m}$) kırılma eğrileri elde edilmiştir. $p=28$ Torr'dan başlayarak atmosferik basınç düzeyine ($p = 690$ Torr) kadar ölçümler alınmıştır. Böylelikle boşalma akım karakteristiklerine basıncın etkisi incelenmiştir. İlâveten *GaP* in Infrared (*IR*) duyarlılığı ile histerezis grafikleri elde edilmiştir. Bu çalışma, *GaP*'in hem direkt band aralıklı hem de indirekt band aralıklı davranış göstermesi sebebiyle önem taşımaktadır.

Exploration of electrical and optical characteristics of gap in a microelectronic gas discharge cell

ABSTRACT

Key Words:
GaP semiconductor, microelectronic gas discharge cell, *IR* illumination

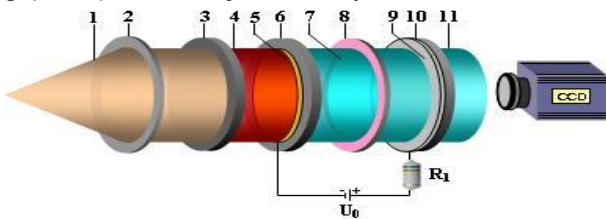
In this paper, the electrical and optical characteristics of an air-filled planary microelectronic gas discharge cell with a *GaP* cathode have been explored. The breakdown curves are found for different interelectrode distances ($d = 45 \mu\text{m}$, $90 \mu\text{m}$, $143 \mu\text{m}$, $240 \mu\text{m}$, $323 \mu\text{m}$, $445 \mu\text{m}$ ve $525 \mu\text{m}$). The measurements are taken at different pressure rates from $p = 28$ Torr to 690 Torr. Thereby, the effect of cell pressure to the discharge current characteristics is investigated. In addition, the *IR* sensitivity of *GaP* and the hysteresis graphics are obtained. This work is important in this sense that *GaP* indicates both the direct band gap and indirect band gap behaviors.

1. Giriş

Son yıllarda elektronik mikroplazma sistemlerinin incelenmesine büyük ilgi gösterilmeye başlandı. Mikroplazma sistemleri 1 mm'nin altındaki plazma boyutları ile ve atmosferik basınçlara kadar faaliyet gösterebilir olması ile karakterize edilir [1-3]. Mikro plazmalar eşsiz karakteristikleri ve yüksek iyon yoğunlukları ile artan öneme sahiptirler. Geleneksel yüksek basınç plazma teknolojileri çok şiddetli elektrik alanlar gerektirir, plazma üretim sistemleri hem çok ağır hem de yüksek basınçta çalışan sistemler için uygun değildir. Bu anlamda, yeni üretilen plazma sistemleri hem daha ekonomik hem de kullanımı yüksek basınç gerektiren uygulamalar için çok elverişlidir [4-5]. Yüksek basınçlarda plazma üretmek, vakum şartlarına ihtiyacın ortadan kalkması sebebiyle ayrıca ekonomiktir. Zaten günümüz teknolojisi artan maliyetleri düşürme çabasıdır. Bizim çalıştığımız yarıiletken gaz boşalma elektronik sistemi aynı zamanda büyük alanlı ve verimli ultraviyole ışık kaynağı olarak görev yapmaktadır [6-7]. Bundan dolayı da, bu sistemlerin yüksek basınçlarda kararlılığını incelemek bu ve benzeri teknolojik uygulamalar için son derece önemlidir. Bu çalışma için III-V grubu bir yarıiletken olan GaP'nin plazma ortamında karakteristik özelliklerine bakılmıştır. GaP, çinko sülfür yapıya sahiptir ve T_d özel grubun üyesidir. Band yapısı karmaşıktır ve elektronlar ile fononların arasındaki bağlaşım kuvvetlidir. Elektron-optik fonon etkileşimi yarı iletken nanomateriyallerin elektronik özellikleri ve optik özellikleri üzerinde çok büyük etkiye sahiptir ve cihaz uygulamaları için çok önemlidir [8]. GaP'nin oda sıcaklığında 446 nm'li dalga boyuyla direkt geçiş bölgesine ve 559 nm'li dalga boyuyla indirekt geçiş bölgesine sahip indirekt bir yarı iletken olduğu bilinmektedir. GaP, polar dielektrik materyaldir. Dış elektrik alanının etkisinde GaP nanokatısı kutuplanabilir [9]. GaP, lüminesans diyot, akusto optik modülatör ve optik kısıtlayıcı olarak kullanılır [10].

2. Deneysel

Deneysel sistem Şekil 1 de gösterilmektedir. Deneysel sistem bir optik tezgâh üzerinde düzenlenmiş optiksel bir deneysel düzenek ve gaz boşlama aralığından ibarettir. Optiksel deneysel düzenek (detayları şekilde gösterilmiştir) yarıiletken katodu (6) aydınlatmada homojen bir ışık demeti (1) elde etmek için bir ışık kaynağı ve kolimatör içerir. Işık kaynağı olarak, gücü 150W a kadar olan bir halojen lamba kullanılır. Dijital yüksek gerilim güç kaynağı vasıtasıyla hücrenin elektrotlarına 0÷2000 V aralığında gerilim uygulanabilir. Yarıiletken katot, akkor lambadan (1) çıkan ışığın önüne Si filtre (3) konularak $0.8 \mu\text{m} < \lambda < 1.6 \mu\text{m}$ dalga boylu ışınları geçiren ışık ile homojen olarak aydınlatıldı.



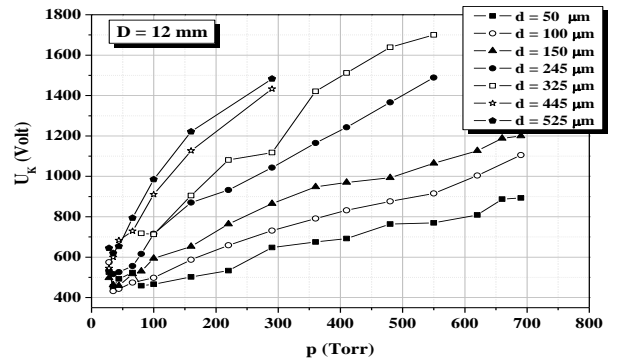
Şekil 1. Mikroelektronik gaz boşalma hücresi (MGBH): 1- Gelen ışık demeti; 2- Mercek; 3-Si filtre; 4- IR ışık demeti; 5-yarı geçirgen Au-tabaka; 6-GaP yarıiletken materyal; 7- Gaz boşalma aralığı; 8-mika yaprak; 9-Saydam iletken SnO_2 kontak; 10-düzlemsel cam disk; 11- UV- görünür ışık demeti.

Gaz boşalmasının ışınmasından akım yoğunluğu dağılımı tahmin edilebilir. Saydam anot (9) ince iletken (SnO_2) tabakasıdır. Yarıiletken tabakanın dış yüzeyinin kalınlığı yaklaşık 40 nm olan Au film ile kaplanmıştır. Bu nedenle, yaklaşık 10% geçirgenlikle görünür ışığa saydamdır. SnO_2 nin tabaka direnci birim alan başına $15 \div 20 \text{ Ohm}$ ve Au filminin ki ise 10 Ohm mertebesindedir. Bu dirençler aydınlatma yokken GaP tabakasının $2 \times 10^8 \text{ Ohm}/\square$ direnci ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. SnO_2 ve Au elektrot yüksek voltaj güç kaynağı U_0 ve seri R_1 direncini içeren dış elektronik devreye bağlantılıdır. Araştırılan boşalma modundaki maksimum boşalma akımı $100 \mu\text{A}$ ' i aşmaz, sonuç olarak saydam anodun yarıçapı boyunca mümkün olan maksimum voltaj düşüşü oldukça küçüktür ve çalışılan yapıdaki akım desenine etkisi yoktur [11]. Yarıiletken, uzaysal dağılımlı bir direnç gibi davranır ve yarıiletkenin iletkenliği aydınlatma şiddetini ayarlayarak değiştirilebilir. Yarıiletken elektrodun dış yüzeyi, gaz boşalma hücresine dc voltaj uyguladığında kontaktardan biri olarak kullanılan yarı saydam altın tabaka ile kaplanmıştır. Gaz boşalma aralığının kalınlığı (7) [$d = 45 \div 530 \mu\text{m}$] ve $D = 5 \div 30 \text{ mm}$ çapı yalıtkan mika (8) tarafından oluşturulur ki; ki bu aralık $28 \div 690 \text{ Torr}$ luk p gaz basıncı bölgesinde ki bir gaz ile doldurulmuştur.

3. Sonuç ve tartışma

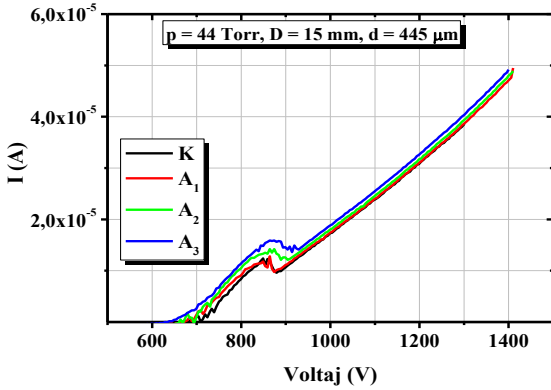
Hava ortamında dc gaz boşalmasının kırılma eğrilerini $U_{dc} = 2000 \text{ V}$ dc gerilim ve $p = 28 \div 690 \text{ Torr}$ luk basınç aralığında ölçümledik. Yarıiletken katodun çapı $D = 5 \div 22 \text{ mm}$ aralığında değişmektedir. Dc kırılma voltajının ölçümlerdeki doğruluk $\pm 5 \text{ V}$ dur. Deney boyunca kırılma eğrisi ölçümünü d elektrotlar arası uzaklığı belli bir sabit değerinde tutup farklı p gaz basınçları için U_K kırılma gerilimi ölçerek gerçekleştirdik. Elektrotlar arası mesafeler için $d = 50 \mu\text{m}, 100 \mu\text{m}, 150 \mu\text{m}, 245 \mu\text{m}, 325 \mu\text{m}, 445 \mu\text{m}$ ve $525 \mu\text{m}$ değerleri kullanılmıştır.

İlk olarak diğer araştırmacıların görüşleriyle uyuşan şekilde ölçümlendiğimiz dc kırılma eğrilerini göstereceğiz. Şekil 2 sabit yarıiletken çap değeri ($D = 12 \text{ mm}$) için farklı elektrotlar arası uzaklıklar için elde edilen kırılma eğrilerini göstermektedir. Şekil 2 den görüleceği üzere elektrotlar arası mesafe büyüdükçe kırılma eğrileri daha büyük U_K kırılma voltaj değerlerine kaymaktadır. Her durumda elektrotlar arası uzaklığın artmasıyla kırılma eğrilerinin daha yüksek U_K ve p değerlerine kayması, elektrik alan boyunca difüzyon nedeniyle boşalma tüpünün yan duvarları üzerindeki yüklü parçacık kayıplarının artmasıyla açıklanabilir.



Şekil 2. Yarıiletken katodun $D = 12 \text{ mm}$ lik sabit çap değeri için farklı elektrotlar arası mesafe d değerlerinde Townsend boşalmasının kırılma eğrileri.

Yarıiletkenlere yüksek bir dc voltaj uygulandığında akım osilasyonları meydana gelir. Bu osilasyonlara elektrik alan yükseltmeli (*electric-field-enhanced*) elektron tuzaklamanın sonucu olarak meydana gelen hareketli yüksek elektrik alan bölgeleri sebep olur. 1960'ın başlarında, deney ve teori gösterdi ki eğer numuneye yeterince yüksek bir dc besleme uygulanırsa bir yarıiletken boyunca akım akışı osilasyon yapabilir. Bu osilasyonlara, katottan anoda hareket eden yüksek elektrik alanlı bölgeler sebep olur. Eğer bir bölge numunenin hacminde oluşuyor ise ve elektrotlardan uzak ise, akım düşük bir değerdedir. Bu bölgeler anoda ulaştığında ve orada bozulduğunda, akım artar. Sonra katotta yeni bir bölge oluşur ve akım tekrar düşer. Bu tip bir davranışın en önemli örneği; elektrik alan yükseltmeli elektron transferlerini içeren ve elektronların düşük enerjili, yüksek mobiliteli iletkenlik bant derinliklerinden yüksek enerjili, düşük mobiliteli olan bantlara geçişiyle tanımlanan transfer edilmiş elektron etkisi (*TEE*) dir. Bu durumun *negatif diferansiyel direnç (NDR)* ve *bölgelerin oluşumuna* yol açtığı gösterilebilir. *SI GaP* daki akım osilasyonları yarıiletken cihazlardaki kararsızlıkların bir örneğidir. Bu tip kararsızlıklar hem sistem uygulamaları (bunlar genelde diyotların çeşitli tiplerinde kullanılır) hem de lineersizliklerin ve kaosların gerçek-zamanını incelemek için öneme sahiptir. Elektriksel bölge kararsızlıklarının yarıiletken elektrotta elektrotun *N*-tipi *I-V* karakteristiğine sebep olduğu ref [12] de belirtilmektedir. Bu tip taşıma lineersizliğinin *SI GaP* da [13] yüksek elektrik alan bölgelerinin yayılmasından sorumlu olduğu bilinmektedir. Sunulan karakteristikler düzlemsel yapının yarıiletken bileşeninin negatif diferansiyel direncinin varlığını kanıtlar. Karanlık K , Zayıf aydınlatma şiddeti A_1 , orta aydınlatma şiddeti A_2 ve kuvvetli aydınlatma şiddeti A_3 için *NDR* eğrileri şekil 3 de sunulmuştur.

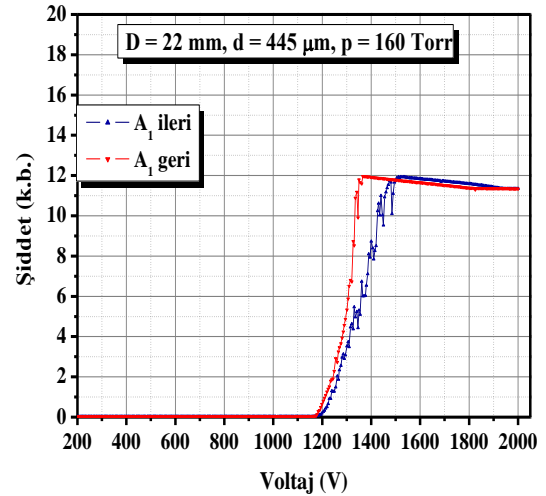
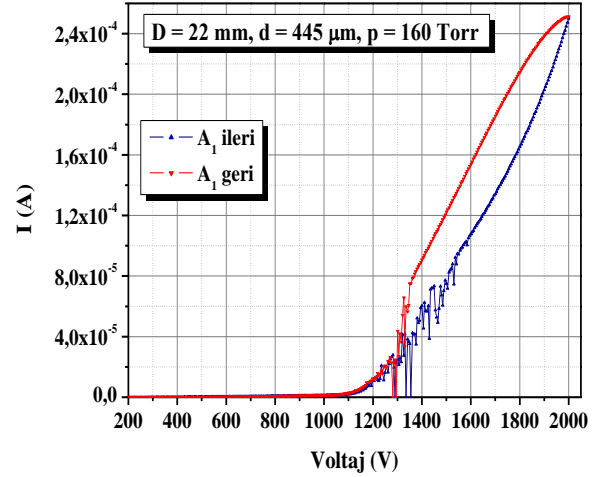


Şekil 3. Farklı *IR* aydınlatma şiddetleri için *GaP* katodun negatif diferansiyel (*NDR*) dirençli akım voltaj karakteristikleri $d = 445 \mu\text{m}$, $D = 15 \text{ mm}$ ve $p = 44 \text{ Torr}$.

Gaz boşalma bölgesi ile elektriksel olarak ara yüzey oluşturan *GaP* katodun nonlineer karakteristiği incelenmiştir. Yarı iletken materyalin geçiş özellikleri, akım kaçakları, akım kararsızlıkları, akımdaki ve/veya voltajdaki süreksizlikler, akım verme ve histerik akım-voltaj fenomenleri gibi kararsızlıkları sunar. Bu gibi kararsızlıklar, materyallerin çoğu türünde, sıcaklık aralıklarında ve uyarılma durumlarında bulunur [14]. Deneylerimizde d belli bir kritik değer

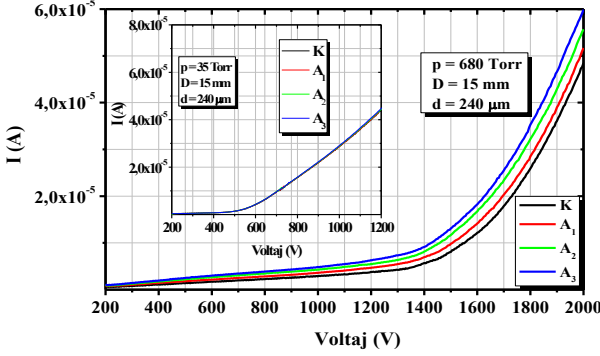
üzerindeyse ($d \geq 330 \mu\text{m}$) *NDR* davranışına rastlanmaktadır (şekil 3). *GaP* materyalde *NDR* davranışının gözlenmesi bu materyalin yüksek frekanslı cihazlarda mikrodalga bileşeni olarak kullanılabilmesi dolayısıyla önemlidir.

Şekil 4 ileri ve geri besleme voltajlarında Akım-Voltaj ve Işıma-Voltaj için histeresis grafiklerini göstermektedir. Histeresis sistemin çift kararlı durumunun bir göstergesidir. Histeresis durumuna hem yarıiletkendeki safsızlıklar ve tuzaklar hemde gaz etki etmektedir. Ayrıca histeresis sistemin yalnız şu andaki durumuyla değil aynı zamandaki geçmişteki durumuna da bağlıdır. Örneğin gaz önceden kırılmaya uğradığı zaman bir sonraki iyonizasyon daha düşük kırılma voltajlarında olabilmektedir. Çünkü sistemi besleyen dış besleme voltajı kapatılsa dahi yüklerin aktivizasyonu belli bir süre için devam edebilmektedir. Ayrıca yarıiletken gaz boşalma aralığında aktif olan bu yükler yarıiletken ile etkileşerek elektriksel ve optiksel karakteristiklerinde değişikliklere yol açabilmektedirler.



Şekil 4 İleri ve geri beslem altında zayıf *IR* aydınlatma şiddeti A_1 için Akım-voltaj ve Işıma- voltaj grafiklerinde gözlenen histeresis davranışları.

Şekil 5 İki farklı basınç değeri için *MGBH* nin farklı *IR* aydınlatma şiddetleri için (Karanlık *K*, zayıf aydınlatma *A₁*, orta şiddette aydınlatma *A₂* ve yüksek aydınlatma *A₃* *AVK* larını göstermektedir. *GaP* ın 400-550 nm dalga boyu aralığında yüksek duyarlılığa sahip olduğu bilinmektedir.



Şekil 5 Farklı *IR* aydınlatma şiddetleri altında düşük ($p = 35$ Torr) ve yüksek ($p = 680$ Torr) basınç değerleri için *GaP* ın *IR* duyarlılığının test edilmesi. $D = 15$ mm, $d = 240$ μ m.

Şu an literatürdeki çalışmaların hemen hemen hepsi görünür ya da *UV* bölgedeki geçirgenlik özelliklerine aittir [1]. Bizde deneysel sistemimizde ilk defa *GaP* ın *IR* duyarlılığını test ettik. Düşük basınç değerinde ($p = 35$ Torr) herhangi bir *IR* duyarlılık gözlenmezken, deneysel sonuçlarımıza göre uygun elektrotlar arası mesafe d ve uygun gaz basıncı ($p = 680$ Torr) ayarlandığında *GaP* ın *IR* ışık ile optik olarak uyarılabileceğini gösterdik. Şekil 5 den görüleceği üzere yüksek basınçlarda farklı *IR* aydınlatma altında farklı iletkenlik değerleri elde edilmektedir. Buna karşın düşük basınç değeri için değişmeyen kararlı bir iletkenlik söz konusudur. Deneysel bulgularımıza göre, uygun basınç değeri ayarlandığında *GaP* ın optiksel özellikleri iyileştirilebilir ve materyalin *IR* duyarlılığı optiksel olarak artırılabilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada *GaP* yarıiletken materyalin elektriksel ve optiksel özellikleri farklı basınç, farklı elektrotlar arası mesafeler ve farklı *IR* aydınlatma şiddetleri incelenmiştir. *GaP* indirek bant aralıklı bir yarıiletken olduğu için direk bant aralıklı yarıiletkenlere göre daha yüksek kırılma voltajı değerlerine sahiptir. Şekil 2 den de görüleceği üzere elektrotlar arası mesafe d artırıldığında kırılma voltajlarının daha yüksek değerlere kaydığı görülmektedir. Ayrıca deneylerimiz esnasında *NDR* ve histerezis olaylarına da rastlanmıştır. Bilineceği üzere *NDR* davranışına *Gun* diyotlarda ve mikrodalga uygulamalarında sıklıkla rastlanmaktadır. Bu nedenle teknolojik uygulamalarda öneme sahiptir. Yine deneysel çalışmamızın en önemli sonuçlarından biri uygun deneysel parametreler ayarlandığında *GaP* ın *IR* duyarlılığının da olduğu gerçeğidir.

Teşekkür

Bu çalışma gazi Üniversitesi *BAP 05/2012-47* ve *BAP 05/2012-72* kodlu projeler tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

1. Fikirli Ö., Atmosferik basınç gaz boşalma plazmalarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Haziran, 2012.
2. Sauli, F., GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, Nucl. Instrum. Methods A., 386, 531-534, 1997.
3. Becker, K. H., Schoenbach, K. H., Edn., J. Microplasmas and applications, J. Phys. D: Appl. Phys., 39, R55-R70, 2006.
4. Klar, H., Morgner, H., Angular distribution of negative ions formed in dissociative attachment, J. Phys. B : Atom. Molec. Phys., 12, 2369-2377, 1979.
5. Gericke, K. H., Gelner, C., Scheffler, P. Microstructure electrodes as a means of creating uniform discharges at atmospheric pressure, Vacuum., 65, 291-297, 2002.
6. Salamov, B. G., Buyukakkas, S., Ozer, M., Colakoglu, K., Behavior of current in gas discharge system between parallel-plane electrodes, Eur. Phys. J. Appl. Phys., 2, 275, 279, 1998.
7. Salamov, B. G., Colakoglu, K., Altındal, S., Recording the resistance inhomogeneity in high-resistivity semiconductors plates, Infrared Phys. & Technol., 36, 661-668, 1995.
8. Wang, X. J., Wang, L. L., Huang, W. Q., Tang, L. M., Zou, B. S. ve Chen, K. Q., A surface optical phonon assisted transition in a semi-infinite superlattice with a cap layer, Semicond. Sci. Technol., 21, 751, 2006.
9. Zhang, Z. C., Li, J.-L. Dielectric characteristic and local phase transition of gallium phosphide nanosolid, J. Mater. Sci., 46, 5079-5084, 2011.
10. Liu, F., Li, Y., Xing, Q., Chai, L., Hu, M., Wang, C., Deng, Y., Sun, Q., Wang, C., Three-photon absorption and Kerr nonlinearity in undoped bulk GaP excited by a femtosecond laser at 1040 nm, J. Opt., 12, 095201, 2010.
11. Strumpel, C., Astrov, Y. A., Purwins, H. G., Nonlinear interaction of homogeneously oscillating domains in a planar gas discharge system, Phys. Rev. E., 62, 4889-4897, 2000.