



MBE CrNiCo/n-GaAs SCHOTTKY DİYOTLARINDA TERMAL TAVLAMANIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERE ETKİLERİ

Ahmet GÜMÜŞ*

Niğde Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, NİĞDE

ÖZET

Bu çalışmada, [100] doğrultusunda, oda sıcaklığındaki öz direnci $\rho=0.07352 \Omega\text{-cm}$ olan Moleküler Beam Epitaksi (MBE) tekniği ile büyütülmüş *n*-tipi GaAs yarıiletken kristali (400 μm kalınlığında) kullanıldı. Yarıiletken kristal yaklaşık $5 \times 5 \text{mm}^2$ 'lik dilimler halinde kesildi, daha sonra bir yüzüne omik kontak yapmak için AuGe alaşımı, diğer yüzüne de doğrultucu kontak yapmak için CrNiCo alaşımı 10^{-5} tor basınç altında buharlaştırıldı. Böylece AuGe/MBE *n*-GaAs/CrNiCo Schottky Diyot yapıları oluşturuldu. Bu yapılar azot atmosferi altında 50 °C'lik basamaklarla 200 °C'den 650 °C'ye kadar tavlandı. Her bir tavlama sıcaklığı için *I-V* (akım-gerilim) karakteristikleri ölçüldü ve elde edilen karakteristik *I-V* eğrilerinden doyma akımı, engel yüksekliği ve idealite faktörü gibi parametreler üzerine termal tavlamanın etkileri araştırıldı.

Anahtar kelimeler; Schottky diyod, Metal/yarıiletken kontaklar, Termiyonik emisyon, Alan emisyonu.

EFFECTS OF THERMAL ANNEALING ON ELECTRICAL CHARACTERISTICS IN CrNiCo/MBE *n*-GaAs SCHOTTKY DIODES

ABSTRACT

In this work, Moleculer Beam Epitaxy(M.B.E) grown *n*-type GaAs crystal (thicness 400 μm) was used with [100] direction and at room temperature resistivity $\rho= 0,07352 \Omega\text{-cm}$. This semiconductor crystal wafer was cutted in forming slices approximately $5 \times 5 \text{mm}^2$, then one side of the wafer coated with AuGe alloy to make ohmic contact, the other side of the wafer coated with CrNiCo alloy to make rectifier contact under pressure 10^{-5} torr. Therefore CrNiCo/MBE *n*-GaAs/AuGe Schotky diode structures were produced. These structures were annealed with steps 50 °C from 200 °C up to 650 °C under nitrogen atmosphere. The *I-V* (current-voltage) characteristics were measured for each annealed temperature and investigation effects of thermal annealing on such as saturation current, barrier height, ideality factor parameters obtained from characteristic *I-V* curves.

Keywords; Schottky diyod, Metal/semiconductor contacts, Thermionic emission, Field emission.

*E-posta: agumus@nigde.edu.tr

1. GİRİŞ

Schottky engel yüksekliğinin (Φ_0) tanımlanmasında kullanılan, akım-gerilim (I-V), kapasite-gerilim(C-V) ve fotoelektrik(PE) gibi bir çok metod vardır. Pratikte en sık kullanılan yöntem, engel üzerinden ışımanın olduğunu kabul eden termiyonik emisyon yöntemidir ve bu yöntemde toplam akım aşağıdaki denklemlerle verilir[1, 2, 3];

$$I=I_{te} \left(\exp \left(\frac{qV_d}{kT} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

Burada q elektron yükünü, V_d uygulama voltajını yani diyot ve seri direnç üzerinde düşen voltajların toplamını, k Boltzman sabitini, T mutlak sıcaklığı temsil etmektedir. Pratikteki Schottky diyotlar bir takım sebeplerden dolayı ideal Schottky diyotlardan sapmalar gösterir yani gerçek bir diyotda da seri direncin mevcut oluşu I-V karakteristiğinde bir takım değişikliklere sebep olur. Yukarıdaki denkleme R_s seri direnci ve boyutsuz “n” idealite faktörü olarak isimlendirilen parametreleri ilave ederek, toplam voltajı da $V_d + IR_s = V$ halinde yazıp ve buna göre $\exp(qV_d/kT) \gg 1$ durumunu dikkate alarak, sonra denk.1’i yeniden düzenlersek

$$I=I_{te} \left(\exp \left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right) \right) \quad (2)$$

şekline dönüşür.

Aynı zamanda denk.2’yi aşağıdaki biçimde yazmak mümkündür;

$$I=I_{te} \exp \left\{ \frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right\} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{q(V - IR_s)}{kT} \right) \right\} \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitlikte görülen I_{te} termiyonik emisyon modeline göre doyma akımını ve “n” de idealite faktörünü temsil ederler ve aşağıdaki ifadelerle verilirler[4, 5, 6];

$$I_{te}=AA^{**}T^2 \exp \left(\frac{-q\Phi_b}{kT} \right) \quad (4)$$

Bu eşitliğin her tarafını tabii logaritmasını alıp yeniden düzenlenirse;

$$\Phi_b = \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left(\frac{AA^{**}T^2}{I_{te}} \right) \quad (5)$$

bulunur ve idealite faktörü de;

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (6)$$

elde edilir.Burada A diyodun geometrik alanını ve $A^{**}=8.16 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$, de n-tipi GaAs için düzeltilmiş Richardson sabitini temsil ederler[7, 8, 9].

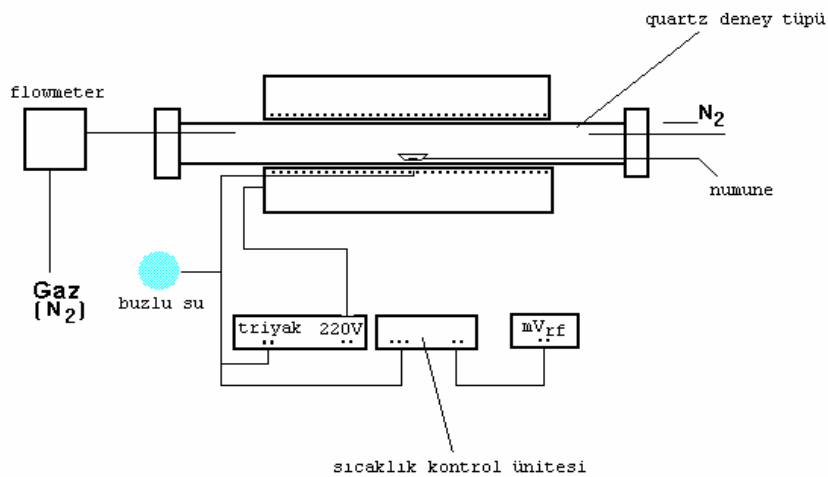
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, UMIST’den (University of Manchester Institute of Science and Technology) temin edilmiş, [100] doğrultulu, 400 μm kalınlığında $\rho = 0.07352 \text{ } \Omega\text{-cm}$ öz dirençli ve MBE tekniği ile büyütülmüş n-tipi GaAs kristali

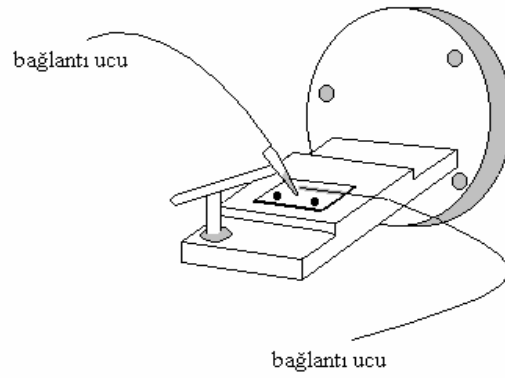
kullanıldı. Yarıiletken kristal yaklaşık $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 'lik dilimler halinde kesildi. Daha sonra bu dilimlerin mat olmayan yüzeyi deiyonize su ile yıkandıktan sonra temiz bir cam üzerine birkaç damla dökülen bromiyum metanol (1:30) karışımında GaAs kristali sürtülerek kimyasal olarak temizlendi. Her sürtünmeden sonra metanol ile iyice yıkandı. Bu işlemlere devam ederek kristalin bir yüzeyi parlatılmış oldu. Daha sonra numune vakum cihazına yerleştirildi. Kontak geometrisinin belirlenmesi için $4 \times 4 \text{ mm}^2$ 'lik maskeler kullanıldı. Omik kontak yapmak için AuGe izopropil alkolde iyice temizlendikten sonra cihazın flamanı üzerine yerleştirilerek 10^{-5} tor basınç altında kristalin mat yüzeyine buharlaştırıldı. MBE n-GaAs/AuGe sistemi yine vakum cihazında 10^{-5} tor basınçta ötektik sıcaklık olan 425°C [3] ' ye kadar düzenli ısıtılması suretiyle ve 425°C 'de 3 dakika bekletilerek MBE n-GaAs/AuGe omik yapısı gerçekleştirildi. Kontakların çok iyi olması için alaşımlarının hepsinin üstüne Au film kaplandı. Bu işlemler esnasında sıcaklık kromel-alumel termel çift kullanılarak ölçüldü. Bir yüzüne omik kontak oluşturulan numunelerin diğer yüzüne doğrultucu kontak uygulamak için numuneler tekrar vakum cihazına yerleştirildi, 10^{-5} tor basınçta vakum cihazında CrNiCo metal alaşımı buharlaştırıldı. Buharlaştırma sırasında kristalin ısınmamasına özellikle dikkat edildi. Doğrultucu kontakın geometrisini belirlemek için 1mm çapında dairesel maskeler kullanıldı, dolayısıyla doğrultucu kontak alanı $A=7,85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ olur. Burada da CrNiCo alaşımı buharlaştırmadan önce izopropil alkolde iyice temizlendi. Sonuçta AuGe/MBE n-GaAs/CrNiCo yapıları elde edilmiş oldu. Pratikte buharlaştırma ile omik ve doğrultucu kontak yapmak çok zor olduğu için alaşım yapmaya ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca alaşımların eşit oranlarda oluşu bazı istenmeyen hataların yapılmamasını sağlamıştır. Bu yapı 50°C 'lik basamaklarla 200°C 'den 650°C 'ye kadar ısı olarak tavlandı. Hazırlanan numunelerin tavlama için şekil 1'de şeması görülen tavlama fırını imal edildi. Numuneler tavlama fırınında sıcaklık profilinin düz olduğu (tam ortası) yerde beş dakika bekletilmek suretiyle tavlandı. Tavlama sırasında oksitlenmeyi en aza indirmek için N_2 gazı geçirildi.

Numunelerin elektriksel bağlantılarını sağlamak için şekil 2'de gösterilen tutucu hazırlandı. Tutucudaki herbir bağlantı uçları yaklaşık $200 \mu\text{m}$ kalınlığında altın tellerden oluşmaktadır. Numunedeki kontaklar altın probun tam altına gelecek şekilde yerleştirilerek ölçümler yapıldı. Her bir tavlama sıcaklığından sonra oda sıcaklığında ve karanlık ortamda doğru ve ters gerilim beslemeleri uygulamak suretiyle numunelerin karakteristik (I-V) eğrileri HP4140A ölçüm sistemi kullanılarak elde edildi ve çizilen karakteristik I-V eğrilerinden elde edilen parametreler üzerine termal tavlamanın etkileri araştırıldı.

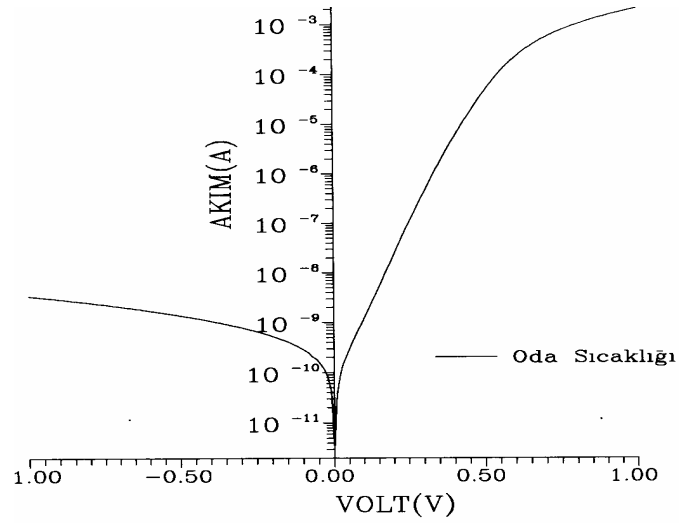
Elde edilen bu eğriler Şek. 3-4'de (yarı logaritmik) görülmektedir. Şek. 3'de görüldüğü gibi, doğru beslem uygulanarak elde edilen 10(on) eğrinin herbirinin belli bir potansiyel değerine kadar bir doğru özelliği gösterdiği görülmektedir. Herbir eğriye tekabül eden doğruların uzantılarının $V=0$ da düşey akım eksenini kestiği noktadan elde edilen değerleri Denk.5 ve Denk.6'da yerlerine konmak suretiyle Φ_0 Shottky engel yükseklikleri ve idealite çarpanları 'n' bulunur. Bu şekilde on değişik sıcaklık için elde edilen Φ_0 Shottky engel yüksekliğinin ve idealite çarpanı 'n' nin değerleri Tablo. 1'de görülmektedir.



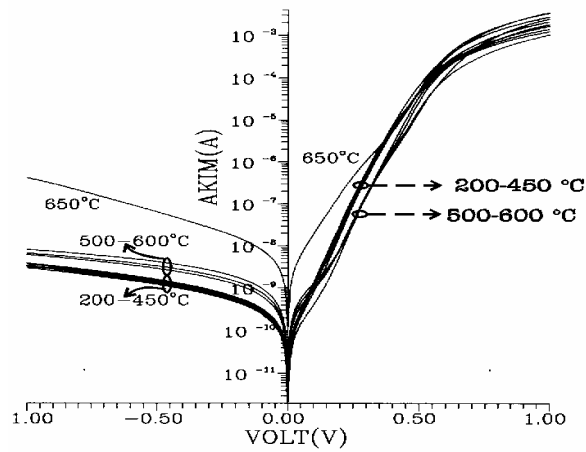
Şekil 1. Tavlama fırını.



Şekil 2. Numune tutucu.



Şekil 3. Oda sıcaklığındaki akım-gerilim karakteristiği.



Şekil 4. Değişik tavlama sıcaklıklarına göre ters ve doğru beslem akım-gerilim eğrileri.

Tablo 1. Tavlama sıcaklığına göre parametrelerin değişimi.

T(°C)	I ₀ (A)	eφ ₀ (eV)	n
Oda Sıc.	5,85.10 ⁻¹¹	0,83	1,38
200	5,80.10 ⁻¹¹	0,83	1,31
250	5,80.10 ⁻¹¹	0,83	1,29
300	4,10.10 ⁻¹¹	0,84	1,21
350	5,10.10 ⁻¹¹	0,83	1,21
400	3,20.10 ⁻¹¹	0,84	1,18
450	3,00.10 ⁻¹¹	0,84	1,38
500	4,00.10 ⁻¹¹	0,84	1,43
550	5,00.10 ⁻¹¹	0,83	1,51
600	5,00.10 ⁻¹¹	0,83	1,54
650	3,00.10 ⁻⁹	0,73	1,96

3. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, [100] doğrultulu MBE tekniği ile büyütülmüş $\rho = 0.07352.\Omega.cm$ öz dirençli n-tipi GaAs kristali kullanıldı. Bu kristale ait mobilite $\mu_n = 8500 cm^2/V.s$ ve iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu $N_c = 4,7.10^{17} cm^{-3}$, [2] tür. Bu değerler kullanılarak serbest taşıyıcı yoğunluğu ve Fermi Enerjisi

$$N_d = \frac{1}{e\rho\mu_n} \quad \text{ve} \quad N_d = N_c \exp\left(\frac{(E_c - E_f)}{kT}\right) \quad (7)$$

bağıntılarından $N_d = 1.10^{16} cm^{-3}$ ve $E_f = 0.00992 \approx 0.1 eV$ olarak bulundu. AuGe/MBE n-GaAs/CrNiCo Schottky diyot yapısının tavlama sıcaklığına göre doğru beslem akım-gerilim karakteristiklerinden engel yüksekliği (ϕ_0) ve idealite çarpanı (n) hesaplandı. Tavlama sıcaklığına bağlı olarak yapılan I-V ölçümlerine göre parametrelerin değişimi Tablo.1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre; diyot yapısının 200 °C ile 650 °C sıcaklık arasında 50 °C’lik artışlarla, tavlama işleminden sonra yapılan I-V ölçümlerinden “n” nin 400 °C’ye kadar düzgün olarak azalarak n=1,18 değerine yaklaştığını, 400C’den sonra artışı görülüyor. Tavlama yapılmadan önce CrNiCo/MBE n-GaAs Schottky diyodu için, doğru beslem I-V karakteristiklerinden engel yüksekliği 0,83 eV ve idealite faktörü (n) 1,38 olarak elde edildi. Doğru beslem I-V eğrisinden de görüldüğü gibi akım 10^{-10} ile 10^{-4} A aralığında üstel bir davranışla akım iletiminin termiyonik emisyon vasıtasıyla kontrol edildiğini göstermektedir. I-V eğrileri için $n = 1,38$ ’lik değer ideal Schottky teorisinden bir sapmanın olduğunu gösterir. Bu kontak metali ile yarıiletken arasında yaklaşık 20-30Å’luk tabii bir arayüzey oksit tabakasının varlığına işaret eder. Bu arayüzey oksit tabakası kimyasal olarak temizlenmiş yarıiletken yüzeyine metalin buharlaştırılmasından önce kaçınılmaz olarak oluşabilir.

Ayrıca schottky diyot yapısının 200 °C ile 650 °C sıcaklık aralığında 50 °C'lik artışlarla, tavlama işleminden sonra yapılan I-V ölçümlerinden "n"nin 400 °C'ye kadar düzgün olarak azalarak $n=1,18$ değerine, 400 °C'den sonra artan sıcaklıkla artarak 650 °C 'de 1,96 değerine ulaşmıştır. İdealite faktörünün bu yüksek değerleri, uygulanan gerilimin bir kısmının arayüzey tabakasında düşmesinden ileri gelmektedir. Bu durum, engel boyunca akan akımın belli bir voltajda beklenenden daha az olmasına ve böylece daha büyük (n)değerlerine yol açar. Tavlamadan önceki 1,38'lik n değeri GaAs ile metal arasında tabii bir oksit tabakasının varlığının delilidir. Bu değer 400 °C'de 1,18'lik bir değere kadar azalması GaAs yüzeyünün hazırlanma şartlarına bağlı olarak var olan tabii oksit tabakasıyla CrNiCo alaşımındaki Cr elementi arasındaki kimyasal reaksiyondan dolayı oksit tabakasının kısmen indirgenmesinden kaynaklanıyor olabilir. Ancak çoğunluk taşıyıcıları için engel yüksekliklerinde hissedilir bir değişim görülmemektedir (yaklaşık 0,83 eV). Değişimin olmaması, engel yüksekliği için termal kararlılık gösterdiği sonucunu vermektedir (Tablo 1). Böylece engel yüksekliği kontak metalinden ziyade metal/yariletken arayüzeyinde çokça bulunan anyon(As) yığınlarıyla veya oluşan yeni arayüzey fazlarıyla belirlenebileceğini söyleyebiliriz. 650 °C gibi yüksek sıcaklıklarda da yapının bozulması sebebiyle parametrelerde anormalliklerin görülmesi mümkündür[10, 11, 12].

KAYNAKLAR

1. Rhoderick, E.H., Williams R.H., Metal-Semiconductor Contacts, pp38-42 Clarendon, Oxford, 1988.
2. Sze., S.M., Physics of Semiconductor Devices, pp.255-297. Wiley, New York, 1981.
3. Ziel, A.V., Solid State Phys. Elect. pp.99-148, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1968.
4. Sato, K., Yasumura, Y., Study of forward I-V plot for Schottky Diodes with highseries resistance, J.Appl.Phys., 58(9), pp.3655-3657, 1985.
5. Chueng, S.K., Chueng, N.W., Extraction of Schottky diode parameters from forward current- voltage characteristics, Appl.Phys.Lett.,49(2), pp.85-87,1986.
6. Lee, C.T., Shiao, H.P., Yeh, N.T., Tsai, C.D., Lyu, Y.T., Tu, Y.K., Thermal reliability and characteriation of InGaP Schottky contact with Ti/Pt/Au Metals, Solid-State Elect., 41, pp.1-5, 1997.
7. Chin, V.W.L., Storey, J.W.V., Green, M.A., p-type PtSi Schottky-diode barrier height determined from I-V measurement, Solid-state Elect., 32, pp.475-478, 1989.
8. Donoval, D., Pires, S.J., Tove, P.A. and Harman, R., A Self consistent approach to IV measurements on rectifying metal-semiconductor contacts, Solid-State Elect. Vol. 32, pp961-964, 1989.
9. Shi, Z. Q., Anderson, W. A., Current transport in Pd/n-InP diodes formed at room and low temperature, J. Appl. Phys., 72, pp.3803-3807, 1992.
10. Gümüş, A., CrNiCo/ MBE n-GaAs Schottky diyotlarında termal tavlamanın ve numune sıcaklığının elektriksel karakteristiklere etkileri", Dokt. Tezi, Erc. Üniv., Fen Bilm., Ens., Kayseri, 1997.
11. Türüt, A., Gümüş, A., Sağlam, M., Tüzemen, S., Efeoğlu, H., Yalçın, N. and Missous, M., Thermal Stability of CrNiCo Alloy Schottky Contacts on MBE n-GaAs, Semicond. Sci. Tech., 13, pp.776-780, 1998.
12. Yokomizo, H., Ikoma, T., Annealing Effect on carrier density profile in GaAs covered with anodic oxide, Japan J. Appl. Phys. 17, pp.1685-1687, 1978.