

Silikon ve Germanyum'un Yasak Enerji Band Aralıklarının Düşük Sıcaklık Ölçümü ile Belirlenmesi*

Murat YILDIRIM[†], Haziret DURMUŞ

Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Kampus Konya

Özet: Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan yarıiletkenlerden olan silisyum ve germanyumun yasak enerji aralığı iki farklı yöntem kullanılarak tayin edilmiştir. Bunlar yasak enerji aralığı, yarıiletkenden geçen akımın sabit tutulması durumunda eklem voltajının sıcaklıkla değişimi ve farklı sıcaklıklar için çizilen I-V eğrilerinin incelenmesi yöntemleridir. Ölçümler 100K-340K sıcaklık aralığında yapılmıştır. Elde edilen sonuçların birbirleriyle ve literatürle uyumlu oldukları gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji band aralığı, Silikon, Germanyum, Düşük Sıcaklık

The Determination of Forbidden Energy Band Gap of Silicon and Germanium with Low Temperature Measurement

Abstract: In this study the forbidden energy gap in silicon and germanium which used widely semiconductors is measured. This measurement utilizes two different procedures. One procedure required measurement of the junction voltage with constant current at several temperatures. The other procedure measured forward current voltage characteristic at different constant temperature. Measurements have been carried out at 100K-340K temperature intervals. It has been found that the two procedures obtained are in good agreement with together and the literature.

Key Words: Energy Band Gap, Silicon, Germanium, Low Temperature

Giriş

Yarı iletken aygıtlar, katıhal fiziğindeki yeniliklere paralel olarak 1950'lerden itibaren geliştirilmiş elektronik devre elemanlarıdır. Yarı iletken devre elemanlarının en bilinen şekli 1948 yılında icat edilen, ancak kendisine 1960'lardan itibaren yaygın bir kullanım alanı bulan transistördür. Doğada en iyi bilinen yarıiletken malzeme silisyum (Si) ve germanyumdur (Ge). Bunlar saf halde yarıiletken özellik göstermekte olup mikroçip üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra indiyum-fosfat (InP) ve galyum-arsenik (GaAs) gibi ikili, InGaAs gibi üçlü ve InGaAlAs gibi dörtlü bileşik yarıiletkenleri de elektronik ve opto-elektronik aygıtların üretiminde kullanılan temel malzemelerdendir. Günümüz yarıiletken teknolojisinde tümleşik devre üretiminin yaklaşık %98'lik bölümünü silisyum tabanlı devreler oluşturmakta ve bunların büyük çoğunluğu (yaklaşık olarak %75'i) Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken (Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS) teknolojsi ile üretilmektedir. Standart silisyum CMOS tümleşik

* Bu makale yüksek lisans tezinin bir bölümüdür.

[†] E-mail: muratyildirim@selcuk.edu.tr

teknolojileri ile sağlanamayan özellikler ise, Si-Ge (silisyum-germanyum) teknolojileri ile sağlanabilmektedir [1].

Bu çalışmada, silisyum ve germanyumundan yapılmış, pn eklem diyod üzerinde yapılan I-V-T ölçümlerinden yararlanılarak, bu yarı iletken malzemelerin yasak enerji band aralıkları (E_g) tayin edilmiştir.

Materyal ve Metod

Bir pn eklemli aygıtın eklem bölgesi doğrusal olmayan, farklı elektriksel özellikler gösterir [2]. Ters doyum akımı, pn eklemelerin önemli bir özelliğidir ve yarıiletkenin yasak enerji band aralığı ile doğrudan ilişkilidir. Bir pn ekleminden geçen I akımı, uygulanan V potansiyel farkının yönüne bağlı olup,

$$I = I_0 \left(e^{qV/\eta kT} - 1 \right) \quad (1)$$

şeklinde verilir. Burada I, diyod akımı; I_0 , doyum akımı; V, eklem potansiyeli; q, elektronun yükü; k, Boltzmann sabiti; T, Kelvin skalasında sıcaklık ve η , yarıiletkenin türüne göre değişen ve 1-2 aralığında değer alan idealite faktörüdür [3]. Doğru beslem voltajı $V > \eta kT/q$ iken idealite faktörünün lineer değiştiği görülmektedir. İdealite faktörünün büyüklüğü, ters doyum akımının sıfır sıcaklıktaki değeridir.

Bu çalışmada silisyum ve germanyumun yasak enerji band aralığı E_g , yasak enerji aralığı, yarıiletkenden geçen akımın sabit tutulması durumunda eklem voltajının sıcaklıkla değişimi ve farklı sıcaklıklar için çizilen I-V eğrilerinin incelenmesi ile farklı iki teknikle ölçülmüş ve sonuçlar tartışılmıştır. Ölçümler, Ge ve Si tabanlı, Ge(1N93) ve Si(1N4007) diyotları üzerinde yapılmıştır.

Sabit Akımda E_g Ölçme Tekniği

Sabit akımda doğrubeslem eklem voltajının sıcaklığa bağımlılığı, yarıiletkenlerin yasak enerji aralığının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ters doyum akımı E_g ve T'ye

$$I_0 = BT^3 e^{(-E_g/\eta kT)} \quad (2)$$

şeklinde bağlıdır [3]. Burada B bir sabit, E_g ise yarıiletkenin yasak band aralığıdır. Denk. (2)'nin Denk (1) de kullanılması ile eklem voltajı için,

$$V = \frac{E_g}{q - \eta kT \ln(BT^3/I)}, \quad (3)$$

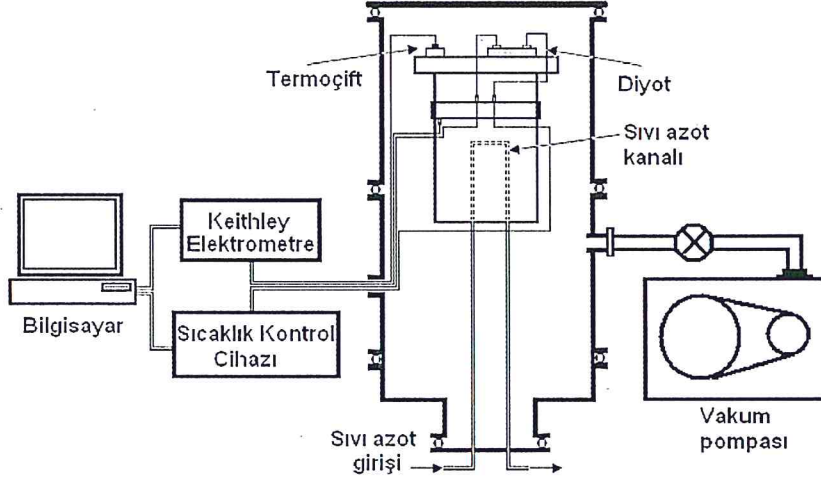
elde edilir. Bu ifadeye göre eklem voltajının 0°K sıcaklıktaki değeri, yasak enerji aralığı E_g 'yi verecektir.

Sabit Sıcaklıkta E_g Ölçme Tekniği

Oda sıcaklığında termal enerji, valans bandındaki elektronları iletkenlik bandına uyardırmak için yeterli değildir. Azınlık taşıyıcılarının sayısı kabaca Boltzmann faktörü $Be^{-(E_g/\eta kT)}$ ile orantılıdır. Bu nedenle azınlık taşıyıcıları E_g ve T ye bağımlıdır. Biraz daha ayrıntılı incelemede, azınlık taşıyıcılarının sayısı gerçek olarak $BT^3 e^{-(E_g/\eta kT)}$ ile orantılı olduğu görülür. Sabit sıcaklıklardaki ölçümler 100K-340K aralığında olduğu için T^3 bağımlılığı üstel bağımlılığın yanında ihmal edilmiştir.

Yarıiletkenlerin belirtilen metotlarla yasak enerji aralığı ölçümü için uygulanan bilgisayar kontrollü, düşük sıcaklık sisteminin deneysel düzeneği Şekil 1'de verilmektedir. Bu sistemde ölçümlerin tamamı (akım, gerilim ve sıcaklık) Analog Sayısal Dönüştürücü (ADC) yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır [5]. Sıcaklık kontrolü ise bir sıcaklık kontrol cihazı (Lake Shore Cryotronics Inc) yardımıyla yapılmıştır. Bu ölçümlerde kullanılan çift kanallı elektrometrenin (Keithley Instruments Inc.) bir kanalı eklem voltajı diğer kanalı ise eklem akımının ölçülmesi için kullanılmıştır.

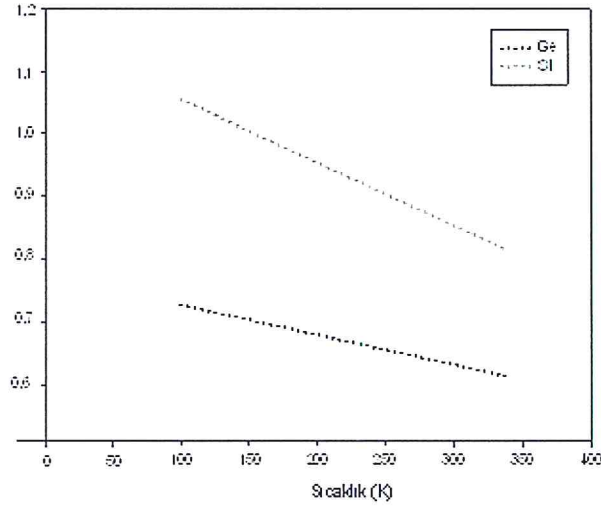
Deney düzeneğini önemli bir parçası olan kriyostat ise, içerisinde sıvı azot geçişine imkân verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada, numuneler kriyostat içinde bulunan ve içinden sıvı azot geçiş kanalı bulunan bakır bloğun üzerine iyi bir temas sağlaması amacıyla, silikon yağı kullanılarak monte edilmiştir.



Şekil 1: Diyot karakteristiğinin belirlenmesi için kullanılan bilgisayar kontrollü düşük sıcaklık deney düzeneği.

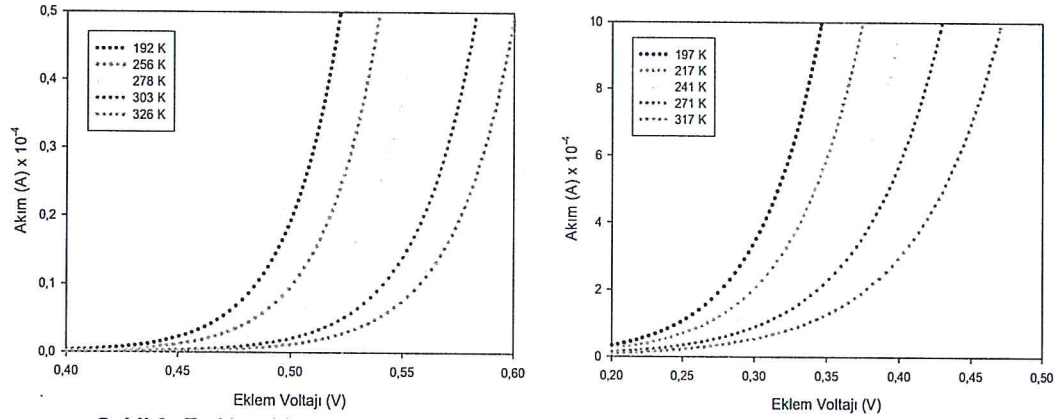
Sonuçlar ve Tartışma

DeneySEL düzenek ile yapılan ölçümlerde elde edilen Eklem Voltajı-Sıcaklık grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Si ve Ge diyodlarına ait eklem voltajının sıcaklıkla değişimi bulunmuştur. Bu doğruların düşey eksenin kestiği noktadan yasak enerji band aralığı değerleri Si için $E_g=1.17$ eV, Ge için $E_g=0.78$ eV değerleri belirlenmiştir.



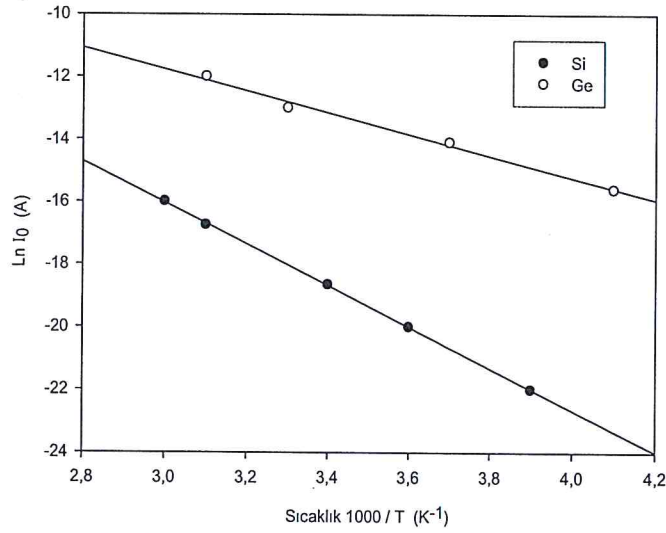
Şekil 2: Si ve Ge için eklem voltajının sıcaklıkla değişimi

Sabit sıcaklıkta E_g ölçme yönetimi için her iki numunenin farklı sabit sıcaklıklardaki I-V ölçümleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Farklı sabit sıcaklıklarda elde edilen Si ve Ge için elde edilen I-V karakteristikleri

Şekil 4'te ise numunelerin ölçümlerinden hesaplanan I_0 , ters doyum akım değerleri verilmektedir. Bu ters doyum akım değerleri kullanılarak Si için $E_g=1.17$ eV, Ge için $E_g=0.76$ eV değerleri hesaplanmıştır. Sonuçların, literatürdeki Si ve Ge için sırasıyla 1.205 eV ve 0.785 eV olarak verilen yasak enerji band değerleri ile karşılaştırması yapıldığında bulunan değerler oldukça tatmin edicidir [6].



Şekil 4: Ters doyum akımının sıcaklıkla değişimi

Kaynaklar

1. Duran L., Bilgi ve İletişim Teknolojileri Stratejisi, Tübitak Yayınları, Ankara, 2004
2. Sze S.M., **Semiconductor Devices**, John Wiley&Sons, New York, (1985).
3. Peter J. Collings **Simple measurement of the band gap in silicon and germanium**, Am. J. Phys., **48**, 197-199, (1980).
4. Charles W. Fisher **Elementary technique to measure the energy band gap and diffusion potential of pn junctions**, Am. J. Phys., **50**, 1103-1105, (1982).
5. Durmuş, H. **Bilgisayar Destekli Bir Sıcaklık Kontrol Ünitesinin Tasarımı Ve Yapımı İle Bazı Alkali Halojen Tuzlarının Isısal Uyarımlı Depolarizasyon Ölçümleri**, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Konya, TÜRKİYE, (1997).
6. Madelung O., **Semiconductors: Data Handbook**, Springer, New York, (2004).