

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**YARIİLETKENLERDE KİNETİK (TAŞINMA) OLAYLARIN DENEYSEL
ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN : HAYRİYE BORAZAN
DANIŞMAN : DOÇ. DR. FERMAN HÜSEYNOV

VAN-2007

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**YARIİLETKENLERDE KİNETİK (TAŞINMA) OLAYLARIN DENEYSEL
ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN : HAYRİYE BORAZAN

VAN-2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Ferman HÜSEYİNOV danışmanlığında, Hayriye BORAZAN tarafından hazırlanan ‘**Yarıiletkenlerde Kinetik (Taşınma) Olayların Deneysel Araştırma Yöntemleri**’ isimli bu çalışma/...../2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: İmza

Üye: İmza

Üye: İmza

Üye: İmza

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../.....Gün vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü

ÖZET

YARIİLETKENLERDE KİNETİK(TAŞINMA) OLAYLARIN DENEYSEL ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

BORAZAN, Hayriye

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ferman HÜSEYNOV

Ocak 2007, 37 sayfa

Bu çalışmada, yarıiletkenlerde kinetik olayların bir kısmı incelenmiştir. Öncelikle yarıiletkenlerin genel bir tanımı tekrar ele alındı. Ayrıca yarıiletkenlerin, metaller ve dielektrikler ile farkı, band modeli esasına göre tartışıldı. Üçlü AMX_2 bileşiklerinin yapısal, elektriksel, fiziksel ve ısısal özellikleri araştırıldı. Üçlü bileşiklerden $AgNiTe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$ ve $AgNiSe_2$ kristallerinin sıvı azot ile yapılan deneylerde, değişen voltaj değerlerine karşılık gelen direnç değerleri ölçüldü. Alınan ölçümler sonucunda her bir kristalin sıcaklık-direnç grafikleri çizildi ve kristallerin yarıiletken özellik gösterdikleri bölgeler hesaplandı.

Anahtar kelimeler: Band modeli, $AgNiTe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$ ve $AgNiSe_2$ kristalleri, Yarıiletkenler.

ABSTRACT

THE EXPERIMENTAL RESEARCH METHODS OF KINETIC (TRANSPORT) EVENTS ON THE SEMICONDUCTORS

BORAZAN, Hayriye

M. Sc., Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ferman HÜSEYNOV

January 2007, 37 pages

In this research, some parts of the kinetic events in the semiconductors are studied. At first, a general description of the semiconductors is considered. Also the difference of semiconductors from the metals and the dielectrics is discussed according to the foundation of bands. The structural, electrical, physical and thermal properties of triple compounds of AMX_2 structure. From the experiments that are carried out by the triple combinations of the crystals of $AgNiTe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiSe_2$ in liquid nitrogen, the values of resistance corresponding for the values of voltages are measured. The temperature-resistance graphic for each crystal is drawn and the ranges on which the crystal shows peculiarity of semiconductors are calculated.

Key words: Band model, $AgNiTe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$ and $AgNiSe_2$ crystals, The semiconductors.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, AMX_2 -tür üçlü yarıiletkenlerde kinetik (taşınma) olayların bazıları (ısı ve elektrik iletkenlikleri) çalışma konusu edilmiştir. Aynı zamanda bazı kristal numunelerinin elektrik iletkenliği sıvı azot sıcaklığında incelenmiştir.

Bu tez çalışması boyunca yardımlarından dolayı danışmanım Doç. Dr. Ferman HÜSEYNOV'a, değerli hocam Prof. Dr Bahşeli GULİYEV'e ve Kafkas Üniversitesi Katı hal fiziği laboratuvarında sıvı azot sıcaklığında yaptığım çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Hasan MAMMADOV'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayriye BORAZAN

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ ve LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	1
2. YARIİLETKENLER	2
2.1. Deşikler	5
2.2. Bantlar Modeline Göre Metal Yarıiletken ve Dielektriklerin Birbirinden Farkı	8
3. AMX_2 ; $AgNiSe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiTe_2$ KRİSTALLERİNİN SENTEZİ ve BÜYÜTÜLMESİ	11
3.1 $AgNiSe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiTe_2$ Bileşiklerinin Sentezi	11
3.2 $AgNiSe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiTe_2$ Kristallerinin Büyütülmesi	11
3.2.1 $A^{III}B^{VI}$ Kristallerinin Bridgman Tekniği ile Büyütülmesi	11
4. AMX_2 ÜÇLÜ BİLEŞİKLERDE FAZ GEÇİŞLERİ VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	15
4.1 AMX_2 Üçlü Yarıiletken Bileşiklerde Faz Geçişleri	15
4.2 AMX_2 Yarıiletkenlerinin Elektriksel Özellikleri	17
5. MATERYAL ve YÖNTEM	34
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	35
KAYNAKLAR	36
ÖZ GEÇMİŞ	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

	sayfa
Şekil 2.1. Şekil 2.1. Değerlik bandının tepesine ve iletkenlik bandının dibine yakın elektronlar için dağılım bağıntıları. Bir elektronun değerlik bandından iletkenlik bandına geçişi grafiği.	3
Şekil 2.2. Değerlik bandındaki delikler için dağılım bağıntısı grafiği.	4
Şekil 2.3. Birinci ve ikinci kısımları iki ardışık anda değerlik bandı için k-uzayındaki elektron dağılımı.	6
Şekil 2.4. Metal, yarıiletken ve dielektriklerin bant yapısı.	9
Şekil 3.1. Büyütme fırının şeması.	12
Şekil 3.2. Yatay büyütme fırını.	13
Şekil 3.3. Düşey fırın (Bridgman Fırını) kesitinin şematik olarak görünüşü.	14
Şekil 4.1. AgCrSe ₂ bileşiğinin termogramı.	16
Şekil 4.2. İletkenliğin(σ), elektromotor kuvvetinin(α) ve hall sabitinin(R) sıcaklığa bağlı davranışı.	17
Şekil 4.3. Isısal iletkenliğin sıcaklık bağımlılığı.	18
Şekil 4.4. AgCrTe ₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.	20
Şekil 4.5. AgNiSe ₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.	21
Şekil 4.6. AgNiTe ₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.	22
Şekil 4.7. AgCrSe ₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.	23

ÇİZELGELER DİZİNİ

	sayfa
Çizelge 4.1. AgCrSe ₂ , AgCrTe ₂ , AgNiSe ₂ , AgNiTe ₂ kristallerinin bazı fiziksel parametreleri.	15
Çizelge 4.2. Sıvı azot sıcaklığında yapılan deneylerde her bir voltaj değerine karşılık gelen sıcaklık değerleri.	25
Çizelge 4.3. AgCrTe ₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.	26
Çizelge 4.4. AgNiSe ₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.	28
Çizelge 4.5. AgNiTe ₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.	30
Çizelge 4.6. AgCrSe ₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.	32

SİMGELER DİZİNİ

ε	Dağılım enerjisi
N_t	Yük taşıyıcı yoğunluğu
K	Kelvin (Sıcaklık birimi)
C	Celsius (sıcaklık birimi)
$\hbar$	Plank sabiti
Δ_S	Entropi

1. GİRİŞ ve LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Yarıiletkenlerin en belirgin özelliği dirençlerinin, iyi iletkenlerle yalıtkanlar arasında oluşu ve sıcaklığın artışıyla dirençlerinin azalmasıdır. Son yıllarda yarıiletkenlerin elektronikte kullanım alanlarının çoğalması ile önemi hızla artmıştır. Özellikle yarıiletkenlerde transistör etkisinin anlaşılması ve çok saf kristallerin elde edilmesi bu konudaki çalışmaların yoğunluk kazanmasına neden olmuştur.

Literatürde, üçlü AMX_2 yarıiletken bileşiklerinin; yapısal ve elektriksel, ısısal özellikleri önem taşımaktadır.

Üçlü AMX_2 bileşiklerinde A- bir valanslı Cu, Ag, M- üç valanslı Al, Ga, In, Tl, Bi, Sb, As veya geçiş element atomları Fe, Ni, Cr, X-S, Se, Te veya A- Li, Na M- Ti, Zr, Ta, Nb seçilen bu bileşiklerin sırasını (ailesini) genişletir (Hahn ve ark., 1954).

Ag_2Se , Ag_2Te , $AgFeSe_2$, $AgFeTe_2$ kristallerinde faz geçişi civarında yapılan araştırmalarda kinetik katsayıların kesin, sıçrayışlı değişimi görülmüştür (Juze ve ark., 1958).

$AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiSe_2$, $AgNiTe_2$ kristalleri yarıiletken özelliklere sahip olmakla yasak bant aralıkları $AgCrTe_2$ - $E_g = 0,3$ eV $T < 100K$ 'de p- tipi iletkenliğe sahiptir. Bu yarıiletken kristal yozlaşmış yarıiletkendir. $T > 100$ K de $\mu_e \gg \mu_n$ olduğundan n- tipi iletkenliğe sahip olur. $T > 405$ K de yapısı değişiyor. $AgNiSe_2$ Galvanomagnetik ve termomagnetik ölçümler sonucu $m_e = 0,3m_0$ olduğu bulunmuştur (Ştrum, 1960).

Aynı zamanda yasak bant aralıklarının $E_g \sim 0.1... 2.0$ eV aralığında değişmesi farklı heteroeklemler alınmasında pratik öneme sahiptirler (Aliiev ve ark., 1974).

Bu kristallerden bir grubu yüksek moblitye sahip olmakla, diğerleri ise Polimorf faz geçişleri ile seçilir ve elektronikte pratik ilgi doğurur. Bu kristaller faz geçişleri civarında fiziksel özelliklerin araştırılmasında bilimsel öneme sahiptirler (Murphy ve ark., 1977).

$AgNiX_2$ (X- Se, Te) bileşiklerinin elektriksel özellikleri incelenmiştir (Gasarov, 1978).

$AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiSe_2$, $AgNiTe_2$ bileşikleri termografik olarak incelenmiştir (Aliyev ve Guseynov, 1979).

$AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiSe_2$, $AgNiTe_2$ bileşiklerinin sentezi ve röntgenografik olarak incelenmiştir (Guseynov, 1981).

Bantlar modeline göre metal, yarıiletken ve dielektriklerin birbirinden farkı incelenmiştir (Tahirov, 1984).

Bu çalışmada genel olarak AMX_2 yarıiletken kristallerinin ısı ve elektrik iletkenlikleri literatür bilgilerine dayanarak yeniden verilmektedir.

2. YARIİLETKENLER

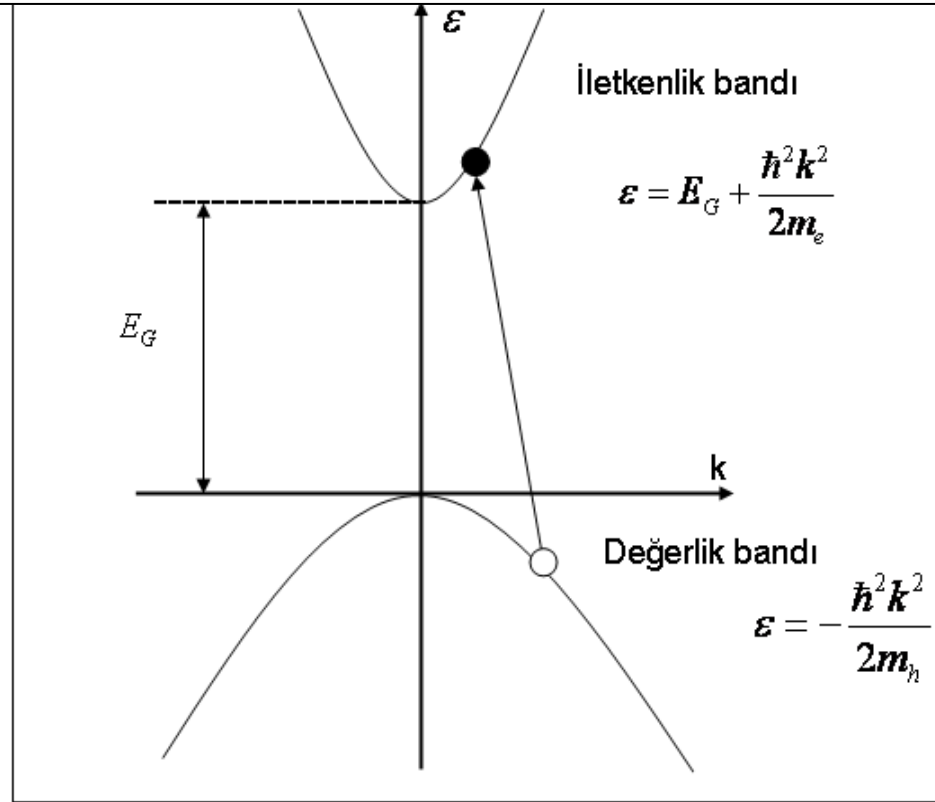
Silisyum ve germanyum önemli yarıiletkenlerdendir. Bunlar, elmas yapıda kovalent bağlı kristaller oluştururlar. GaAs ve InSb gibi yarıiletken bileşikler çinko sülfata benzer yapı oluşturur. En yüksek işgal edilmiş enerji bandı mutlak sıfırda tamamen doludur. Bu kovalent bağlanmadan sorumlu elektronları içerdiği için, değerlik bandı olarak bilinir. En düşük işgal edilmemiş enerji bandı, iletkenlik bandı olarak bilinir ve değerlik bandından tipik olarak 1eV mertebede bir aralık ile ayrılır. Yarıiletken davranışa $\varepsilon(k)$ enerji dağılım bağıntıları Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, değerlik bandının tepesine ve iletkenlik bandının dibine yakın durumlarda elektronlar hakimdir.

Enerjinin bir maksimumuna veya minimumuna yakın durumları inceleyeceğimiz için dağılım eğrisi $\varepsilon(k)$ 'yı parabolik olarak alabiliriz ve

$$\text{İletkenlik bandı} \quad \varepsilon = E_G + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e} \quad (2.1)$$

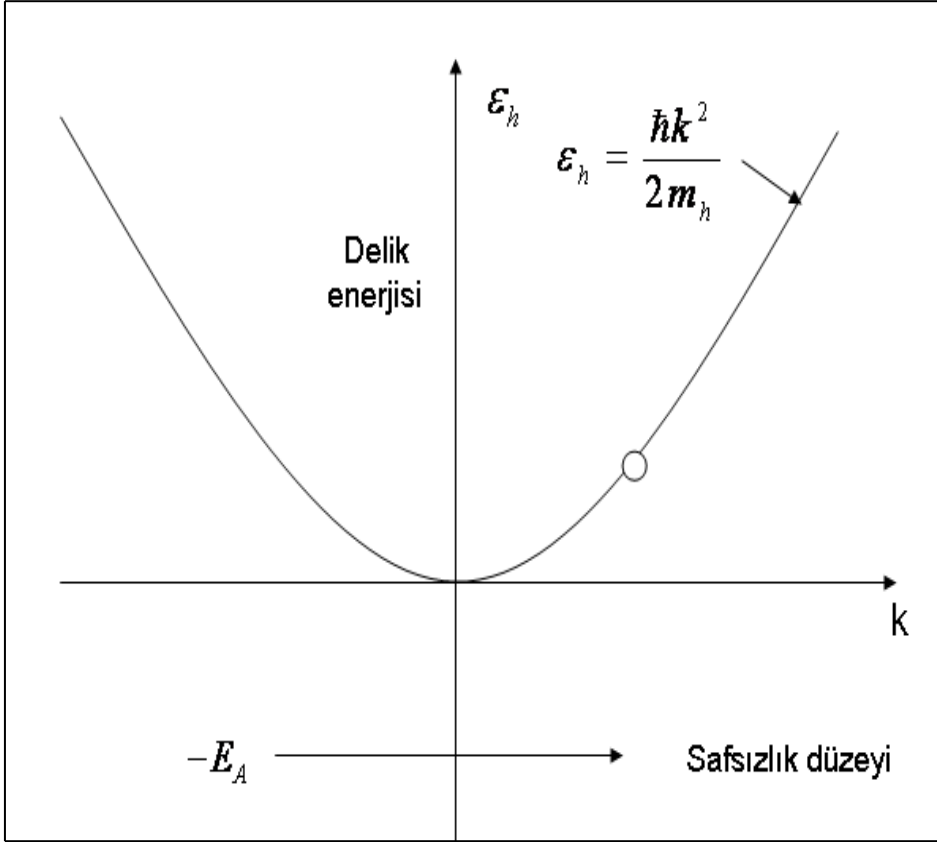
$$\text{Değerlik bandı} \quad \varepsilon = - \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h} \quad (2.2)$$

yazabiliriz. Burada E_G (yasak bölgenin geni) enerji aralığıdır ve değerlik bandının tepesini potansiyel enerjinin sıfırı olarak aldık. İletkenlik bandının dibine yakın elektronlar, bu nedenle



Şekil 2.1. Değerlik bandının tepesine ve iletkenlik bandının dibine yakın elektronlar için dağılım bağıntıları. Bir elektronun değerlik bandından iletkenlik bandına geçişi, gösterildiği gibi değerlik bandında bir deşik oluşturur.

pozitif m_e kütleli serbest parçacıklar gibi davranırlar. Bununla birlikte değerlik bandında daha aşağı durumlardaki elektronların pozitif etkin kütleye sahip olmalarına karşın, değerlik bandının tepesine yakın durumda olanlar, negatif bir etkin $-m_h$ kütlelerine sahip gözükürler. İlk bakışta yaklaşık dolu olan bir değerlik bandının özelliklerini hesaplamak çok zor bir problem olarak görülebilir, ancak karmaşıklıklardan uzak, basit ve şık bir yaklaşım vardır. Yaklaşık dolu bir değerlik bandının davranışı doldurulmuş durumları tamamen ihmal ederek ve her bir boş durumun pozitif yüklü $|e|$, pozitif kütleli $m_h^\dagger$ ve $\hbar^2 k^2 / 2m_h$ enerjili bir parçacıkla işgal edilmiş olduğu göz önüne alınarak hesaplanabilir (Şekil 2.2’de gösterildiği gibi). Bu hayali parçacıklara deşikler denir.



Şekil 2.2. Değerlik bandındaki delikler için dağılım bağıntısı, elektronlar için dağılım bağıntısının negatifidir. Safsızlık düzeyi alıcı bir safsızlığa bağlı bir deliğin enerjisidir.

2.1. Deşikler

Yalnızca bir elektronu, diyelim k durumunda, eksik olan değerlik bandının özelliklerini göz önüne alacağız. Bu deliğin enerji ve momentumunu, değerlik bandındaki elektronun k durumundan iletkenlik bandındaki k_1 durumuna Şekil 2.1’de gösterildiği gibi aktarımıyla bunu oluşturmak için her birinden ne kadarının kristale ilave edilmesi gerektiğini sorarak, belirliyoruz. Denklem (2.1) ve (2.2)’den gerekli enerji

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon &= E_G + \frac{\hbar^2 k_1^2}{2m_e} - \left(- \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h} \right) \\ &= \left(E_G + \frac{\hbar^2 k_1^2}{2m_e} \right) + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h}\end{aligned}$$

dir. Parantez içindeki birinci terim açıkça iletkenlik bandındaki elektron enerjisidir. İkinci terim bu nedenle deliği oluşturmak için gerekli enerji olarak belirlenir ve pozitiftir. Böylece k durumundaki deliğin enerjisi Şekil 2.2’de çizilen

$$\varepsilon_h = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h} \quad (2.3)$$

dir. Deliğin k durumundaki (kristal) momentumu

$$P_h = - \hbar k \quad (2.4)$$

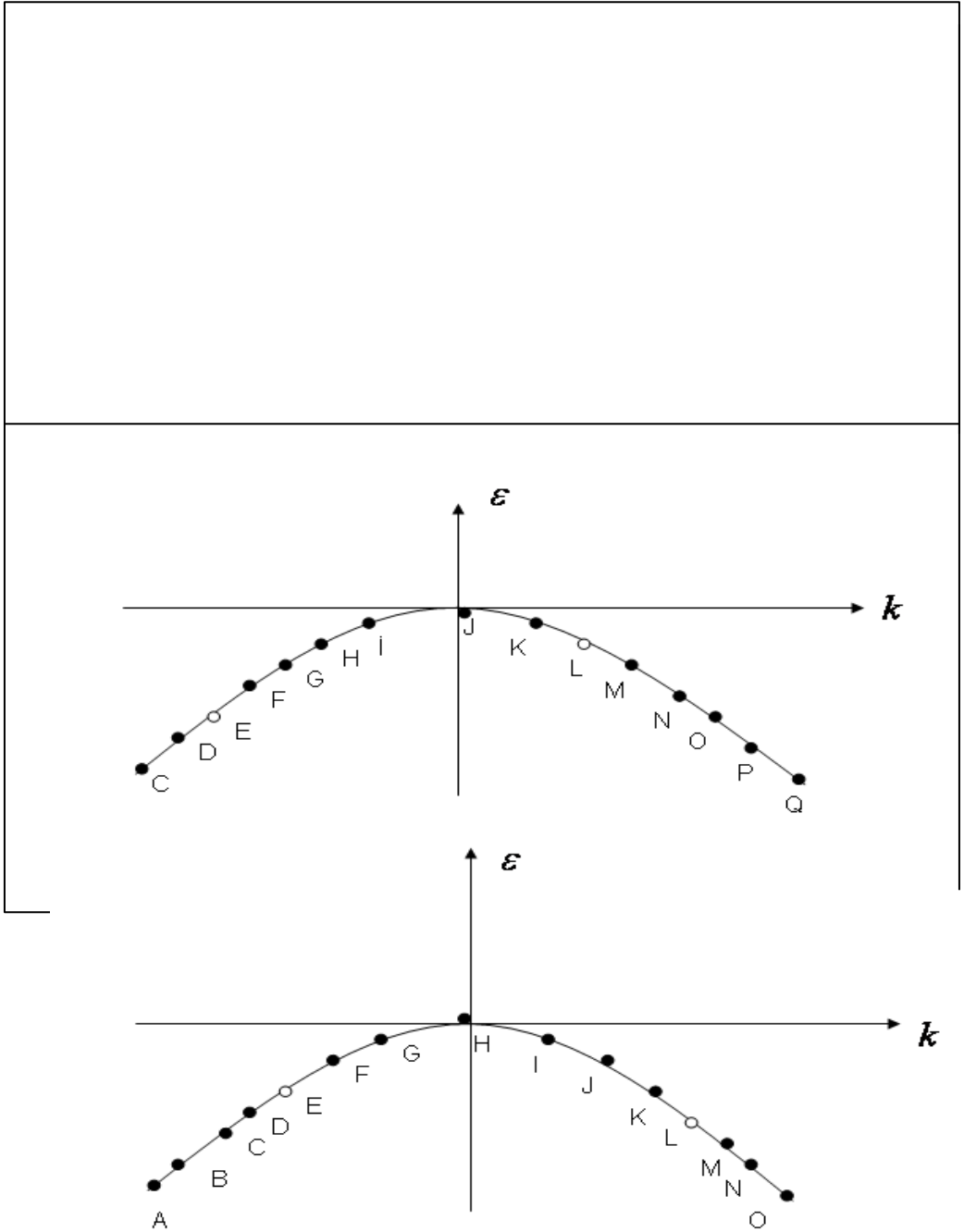
Dağılımdaki deliğin işgal edilmiş durumlardaki elektronlar tarafından ‘süpürüldüğünü’ görüyoruz. Bu nedenle önemli olan sonuç, deliğin hareket denkleminin aynı durumdaki bir elektronunki ile tamamen aynı olmasıdır.

$$\hbar dk / dt = - eE$$

veya

$$-m_h dv_h / dt = -eE$$

yazabiliriz. Burada v_h bir delik dalga paketinin hızıdır.



Şekil 2.3. Birinci ve ikinci kısımları iki ardışık anda değerlik bandı için

k-uzayındaki elektron dağılımını gösteriyor. Çarpışmalar yokken bir d.a. elektrik alanının kararlı bir $dk/dt = eE/\hbar$ hızıyla elektronların k-uzayında hareket ettirme yolunu gösteriyor. İşgal edilmemiş durumlar (E ve L) bu süreçte süpürülür, böylece bir deşğin hareketi aynı durumdaki bir elektronunki ile aynıdır.

Değin hareketi komşu durumlardaki elektronlarınkı ile belirlenir.

$$v_h = \frac{1}{\hbar} \frac{d\varepsilon}{dk} \quad (2.5)$$

bağıntısı elektron grup hızıdır.

Yukarıda verilen hareket denkleminin iki biçimi yeniden

$$\frac{dp_h}{dt} = eE, \quad (2.6)$$

$$m_h \frac{dv_h}{dt} = eE \quad (2.7)$$

yazılabilir. Burada denklem (2.4)'ü kullandık. Yine değin hızının ε_h enerjili ve p_h momentumlu bir parçacığa uygun

$$v_h = \frac{d\varepsilon_h}{dp_h} \quad (2.8)$$

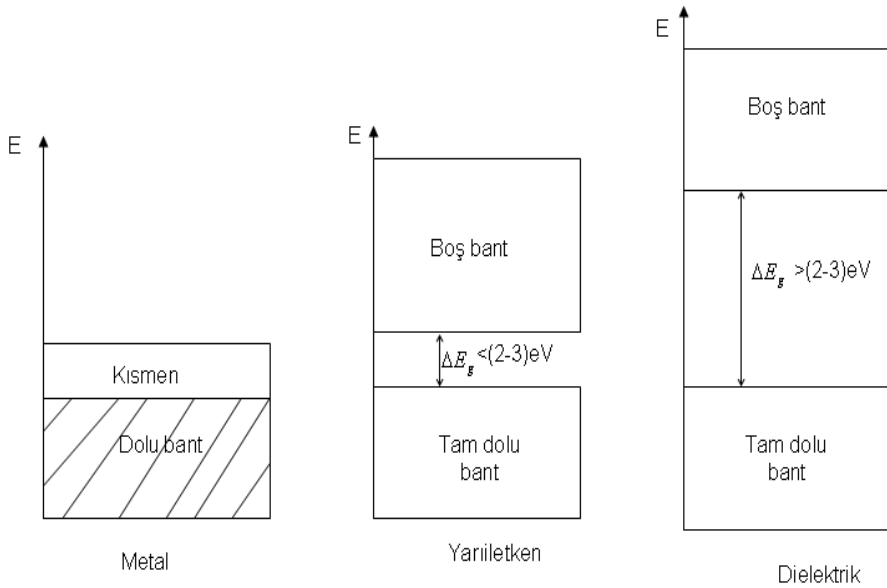
yazılabilir.

2.2. Bantlar Modeline Göre Metal Yarıiletken ve Dielektriklerin Birbirinden Farkı

Güçlü bağlı elektron yaklaşımının önemli sonuçlarından biri, ayrı ayrı atomlardan kristal oluşurken izole edilmiş atomların her bir elektron seviyesinin uygun bant oluşturmasıdır. Her bir bantta seviyelerin sayısı kristaldeki atomların N sayısına eşittir. Kendisi de kristalin enerji bantlarının hepsinde olan seviyelerin sayısı, ayrı ayrı serbest atomların hepsinde olan enerji seviyeleri sayısının toplamına eşittir. Eğer g defa dejenere seviyelerden oluşmuyorsa, yani atomlar serbest olduğunda uygun her bir seviyede $2g$ elektron olması imkanı varsa, (Pauli prensibine göre her bir seviyede spinleri zıt yönlü iki elektron yerleşebilir.) bu bantta $2gN$ seviye vardır.

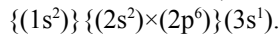
Herhangi bir bantta hiçbir elektron yoksa kristale elektrik alanı uygulandığında, bu bant elektrik iletkenliğine izin vermez. Bantta bütün seviyeler sonuna kadar elektronlarla dolmuşsa, bu elektronlarda iletkenliğe katılamazlar. Çünkü alanın etkisi ile elektron (daha yukarı) komşu seviyeye geçmelidir. Bu ise Pauli prensibine göre mümkün değildir (seviyelerin hepsi doludur). Bant elektronlarla tam dolmamış olursa, ancak o zaman elektronlar elektrik iletebilirler. Bu sonuç, maddeleri bantlar modelinde iletkenliğine göre farklı sınıflara ayırma imkânı verir. İstenilen sıcaklıkta bakılan maddenin bandı varsa o zaman bu madde iletkenidir. İletken olmayan maddelerin bir sıra enerji bantları elektronlarla tümüyle doludur ve sonuncu dolu banttan sonra gelen boş bant, dolu banttan yasak bantla belli miktarda ayrılır. İletken olmayan maddelere yarıiletkenler veya dielektrikler aittir. Birinci boş bandı sonuncu dolu banttan ayıran yasak bandın eni $2-3$ eV ve ondan az ise o zaman madde yarıiletken, $2-3$ eV'dan büyükse dielektriktir (Şekil 2.4). Sonuncu dolu banda valans bandı birinci boş banda ise iletkenlik bandı denir.

Bantlar modeline göre maddelerin sınıflara bölünmesini birkaç özel madde örneğinde gösterelim.



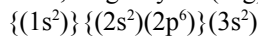
Şekil 2.4. Metal, yarıiletken ve dielektriklerin bant yapısı.

a) Alkali metal elementlerinin atomlarında n . s seviyesinde yerleşebilir bir tane valans elektronu var. Mesela; Na-da elektron tabakalarının dizilişi şöyledir:



Bellidir ki; 1s, 2s, 2p tabakalarına karşı gelen bantlar elektronlarla tam dolmuş olduğu bellidir, 3s tabakasına karşılık gelen bant yalnız yarısına kadar dolmuş olur. Buna göre bütün alkali metaller mesela, Na iyi iletkenliğe sahip olan kristaller oluşturur yani metaldirler.

b) Toprak alkali metallerinin her atomunun n . s seviyesinde iki valans elektronu vardır. Mesela, magnezyum (Mg) 12 elektronu tabakalar üzerinde şöyle dağılmıştır:

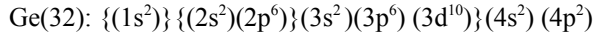
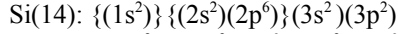
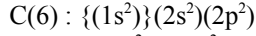


Buradan görülüyor ki, bütün elektron tabakaları tam doludur. Yani magnezyum yalıtkan olmalıdır. Fakat biliniyor ki, ikinci grup elementleri iyi iletkenlerdir (metaldirler). Bunu 3p seviyesine uygun gelen bandın sonuncu (3s) bant ile kısmen veya tam üst üste gelmesi ile izah edilebilir. Böyle olduğunda dolu bandın elektronları alanın etkisine maruz kaldığında boş banttaki seviyelere geçer ve böylelikle elektrik iletkenliği mümkün olur. Üst üste düşme kısmen olduğunda dolu bandın yukarı sınırında (maksimumunda) yerleşen elektronlar iletkenliğe katılacaktır. Biliniyor ki, böyle olduğunda elektronların etkin kütlesi negatif olur ve onlara deşikler demek mümkündür. Bu ise gösteriyor ki, adları geçen maddelerden bazıları p-tipi iletkenliğe sahip olur (metallerde iletkenlik genelde n-tiptir).

c) Üçüncü grup elementlerinde üç valans elektronundan sadece biri n . p seviyesindedir. Mesela alüminyumda Al: $\{(1s^2)\} \{(2s^2)(2p^6)\} (3s^2)(3p^1)$ görüldüğü gibi

sonuncu p seviyesinin yalnız 1/6'si doludur ki, bu da üçüncü grup elementlerinin metal (iletken) olmasını kolaylıkla izah eder.

d) Dördüncü grup elementleri atomlarının dört valans, ikisi n-ci s seviyesine ve ikisi de n. p seviyesine yerleşir. Kristal oluşurken dejenere derecesi serbest atomda enerji seviyelerinin derecesi ile aynı olsaydı, o zaman bu maddeler metal iletkenliğine sahip olmalıydılar. Çünkü sonuncu p seviyesinin üçte bir kısmı doludur. Fakat bellidir ki; silisyum ve germanyum klasik yarıiletkenlerdir. α —Sn yarıiletken özelliğine sahiptir. Karbonun modifikasyonu olan, elmas ise dielektrik özelliğine sahiptir. Bu ise söylenilen fikrin aksinedir. Karbon, silisyum ve germanyumun elektron tabakalarının dizilişi böyledir:



Yukarıda kaydettiğimiz gibi bu elementler elmas tipli dizilmek üzere kristalleşirler ve katı halde tetraedrik kovalent bağlı oluşmasında her atomun dört valans elektronu katılır. Uygun enerji seviyelerinden elmasın bant dizilişinin şeması gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, atomlar arasındaki mesafe küçüldükçe önce s ve p bantları birleşerek (kesişerek) genel bir bant oluşturur. Bu banttaki bütün seviyelerin sayısı 8N'dir (Burada N kristal kafesinde olan bütün atomların sayısıdır). Sonra genel bant, her birinde 4N seviye olan iki banda bölünür böylelikle, alt bant (valans bandı) 4N elektronla tam doludur. Üst bantta olan 4N seviyelerin hepsi boştur (Elmas yasak bandının eni 5,37 eV'a eşittir). Buna benzer manzara silisyum, germanyum ve α —Sn kendi değerinde kalır. Sadece yasak bandın genişliği farklı değerlere sahip olur.

Böylelikle, kötü iletkenliğe sahip olan kristalin (dielektrik, yarıiletken) oluşması için bantların konfigürasyonu öyle olmalıdır ki, banttaki elektronların sayısı mevcut olan seviyelerin sayısına eşit olsun. Bu şart $A^x B^{8-x}$ tipli birleşiklerde ($x=1,2,\dots,7$ mesela $A^3 B^5$ burada A-III. grup, B- V grup elementidir.) kolaylıkla gerçekleşir. Eğer A ve B elementlerinin oluşturduğu bantlar kesişirse o zaman onlardan birinin s ve p bantlarında (veya birinin s ve p bandında) her iki atoma 8 seviye düşer ve bunları da iki atomun 8 elektronu tam doldurur.

3. AMX₂; AgNiSe₂, AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiTe₂ KRİSTALLERİNİN SENTEZİ ve BÜYÜTÜLMESİ

3.1 AgNiSe₂, AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiTe₂ bileşiklerinin sentezi

AgNiSe₂, AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiTe₂ bileşiklerinin elde edilmesi için ayrı ayrı bileşenler yüksek saflıklı maddelerden gereken oranda tartılarak özel temizlenmiş quartz tüplere doldurulur. Sonra quartz tüpün havası pompalanarak (10^{-4} mmHg) kapatılır. Bu amaçla kullanılan Se- 99,9999%, Ni- 99,99%, Cr- 99,99%, Te-99,9999% saflıklarda olmuştur.

Bileşenlerle doldurulmuş quartz tüp, ardından sentez fırınına yerleştirilerek çok yavaş hızla ısıtılmaya başlanır. 600 C gibi bir sıcaklıkta 6 saat bekletilir. Sonra fırın ampulle beraber titreştirilir. Bu şekilde bileşik oluşumu başlar. Daha sonra fırının sıcaklığı 10 saatte 1200–1300 C sıcaklığa çıkarılır. Bu sıcaklıkta tüpteki madde 10 saat bekletilir. Bileşik oluşumu tam gerçekleştirilmiş olur. Son olarak madde yavaş yavaş soğutulur.

3.2 AgNiSe₂, AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiTe₂ kristallerinin büyütmesi

Değiştirilmiş Bridgman yöntemi ile gerçekleştirilir.

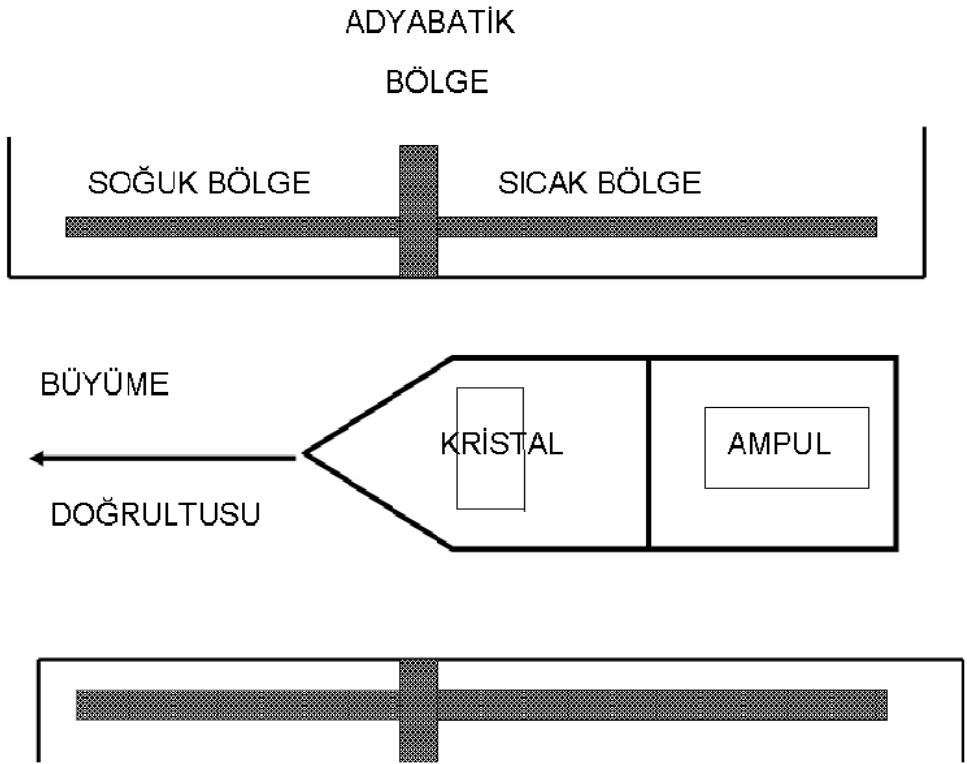
3.2.1 A^{III}B^{VI} Kristallerinin Bridgman Tekniği İle Büyütülmesi

Amorf ve kristal maddelerin hazırlanması için birçok farklı teknik vardır. Normal olarak, eritip söndürme tekniği amorf maddelerin büyütmesi ve yavaşça soğutma tekniği kristal maddelerin büyütmesi için geliştirilmiştir.

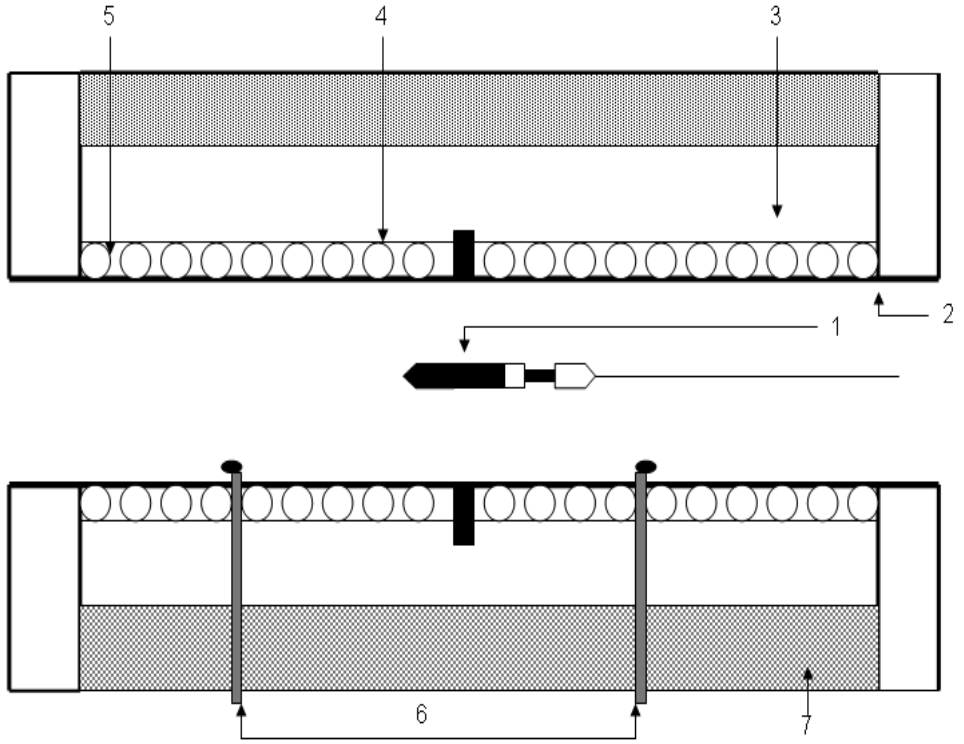
Tabakalı yarıiletken maddelerden olan GaS, GaSe, GaTe ve InS, InSe, InTe genellikle alışılmış Bridgman metodu ile büyütülürler. Yüksek saflıkta (%99,9) stokiometrik miktarda (toplam kütle 20 g) elementler tartılarak 10^{-6} Torr'luk bir boşluk altında quartz ampullere (iç çap 10 mm, kalınlık 2 mm, uzunluk 200 mm) doldurularak ampullerin ağzı kapatılır. Quartz ampuller aseton ile önceden temizlenmiş olmalıdır.

Hazırlanan ampul saat yönünde ve saatin tersi yönünde 5 rpm hız ile dönebilen bir fırın içerisine dikey olarak yerleştirilir. Ampuller 24 saat içinde erime ve reaksiyon sıcaklığına (≈ 1050 C) kadar sallanan fırında ısıtılır. Alaşım oluşumu esnasında madde homojen bir eriyik elde etmek için, sürekli sallanır. Bu sıcaklıkta karışımın homojen olması için karıştırılarak yaklaşık 120 saat tutulur. Erime tamamlandıktan sonra, ampul bir gün boyunca yavaşça oda sıcaklığında soğutulur.

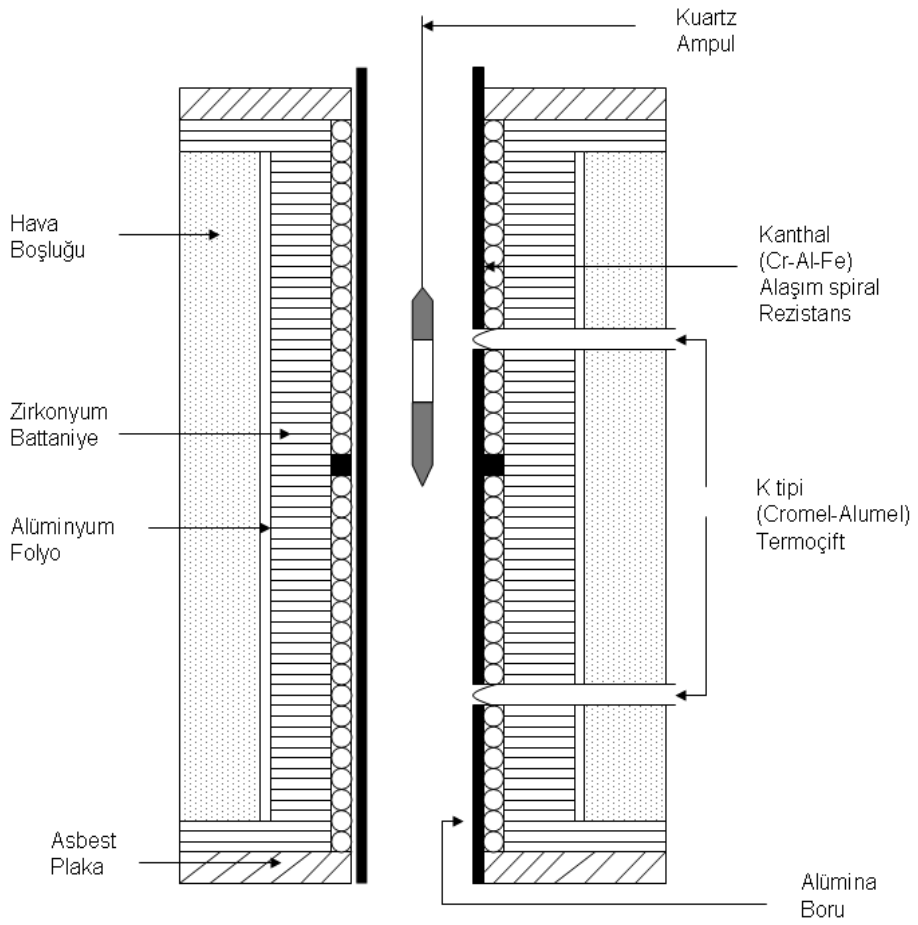
Sonra ampul Bridgman Fırınına dikey olarak yerleştirilerek 1000 C' ye kadar ısıtılır. Fırın içerisinde sıcaklık değişimi kristal büyütmeye bölgesinde 25 C/ cm değerindedir. Tekli kristaller, ampuller 3mm/ gün düşük hızda dışarıya itilerek büyütülür. Büyütülen kristaller tabakalı yapıdadır ve kolayca c-eksenine tabakalara ayrılabilir.



Şekil 3.1. Büyütme fırınının şeması.



Şekil 3.2. Yatay büyütme fırını; 1. Kuartz ampul, 2. Alümine tüp, 3. Zirkonyum battaniye, 4. Alüminyum folyo, 5. Kanthal rezistans (Cr-Al-Fe), 6. Termoçift, 7. Hava boşluğu



Şekil 3.3. Düşey fırın (Bridgman Fırını) kesitinin şematik olarak görünüşü.

4. AMX₂ ÜÇLÜ BİLEŞİKLERDE FAZ GEÇİŞLERİ VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

4.1 AMX₂ Üçlü Yarıiletken Bileşiklerde Faz Geçişleri

AMX₂ üçlü yarıiletken bileşiklerden AgCrSe₂ kristalinde polimorfizm; düşük sıcaklıklı α modifikasyondan ve sıcaklıklı fiziksel özellikteki β modifikasyona geçiş araştırılmıştır.

Bu tür bileşiklerde A bir valanslı metaller (Ag, Cu), M üç valanslı metaller Al, Ga, In, Te, Bi, Sb, As veya geçiş elementleri Fe, Ni, Cr, H halojenleri S, Se, Te' nin direkt etkileşmesi yöntemi ile alınmıştır. Bu kristallerin bazı fiziksel parametreleri aşağıda Çizelge 4.1' de verilmiştir.

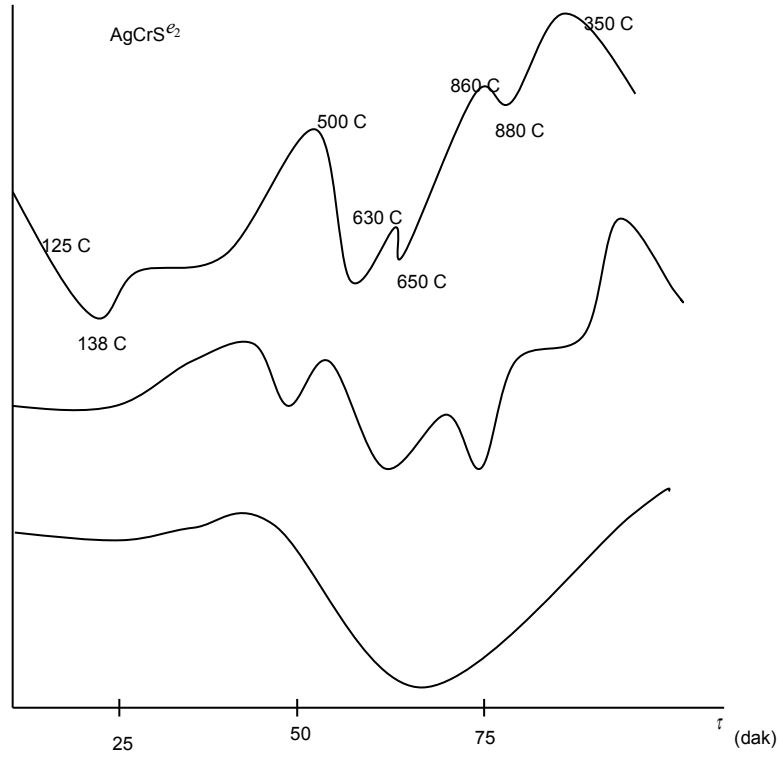
Çizelge 4.1. AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiSe₂, AgNiTe₂ kristallerinin bazı fiziksel parametreleri

Bileşik/örgü sabiti	AgCrSe ₂	AgCrTe ₂	AgNiSe ₂	AgNiTe ₂
a, Å	3,70	3,94	3,72	3,98
c, Å	21,23	24,65	21,30	24,74
c/a	5,74	6,26	5,78	6,22
T _{fazgeçiş} , °C	125+138	138+145	135+142	180+140
T _{erg} , °C	880	920	820	900
Q, kal/gr	0,5	0,6	1,5	1,2
ΔS , kal/mol. °C	0,4	0,6	1,2	1,2
E, kal/mol	0,65	0,75	1,00	1,12

AgCrSe₂ kristalleri ayrı ayrı Ag, Cr, Se maddeleri uygun oranda quartz tüpe kaplaştıılır. Havası pompalandıktan sonra, tüpün ağzı oksijen kaynağı ile kapatılır. Sonra tüp fırında şok hızı ile 1300 K sıcaklıkta ısıtılır. Tavlama işlemlerinden sonra AgCrSe₂ kristalleri Bridgman yöntemi ile büyütülmüştür. Büyütülen kristallerin yapı analizi, bunları büyütülmüş kristallerin X- ışını yapı analizinden örgü sabitleri bulunmuş, kristal yapısının hekzagonal olduğu gösterilmiştir ve uzay grubunun R3m olduğu anlaşılmıştır.

Deneysel ölçümler $a = 2,7 \text{ \AA}$ ve $c = 21,23 \text{ \AA}$ olmakla beraber hekzagonal tabakalı kristal yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Alınmış AgCrSe₂⁺ kristallerinin bu tipi AMX₂ kristalleri içinde karakteristik faz geçişleri fiziksel özelliklerindeki değişimi inceledik. AgCrSe₂ bileşiğinin termogramı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. AgCrSe_2 bileşiğinin termogramı.

Diferansiyel termogramdan görüldüğü gibi 3 endotermik ve 1 ekzotermik pik mevcuttur.

1- Endotermik pik 408–415 K yapı faz değişimi ile bağlıdır. Bu sıcaklıkta α modifikasyonu yüksek sıcaklık β politipine çevriliyor. Sonuçlar $\alpha - \beta$ geçişinin döner olduğunu göstermektedir.

2- Endotermik pik 793–913 K aralığında görülmektedir.

3- Endotermik pik maksimum 1063–1093 K aralığında görülmektedir.

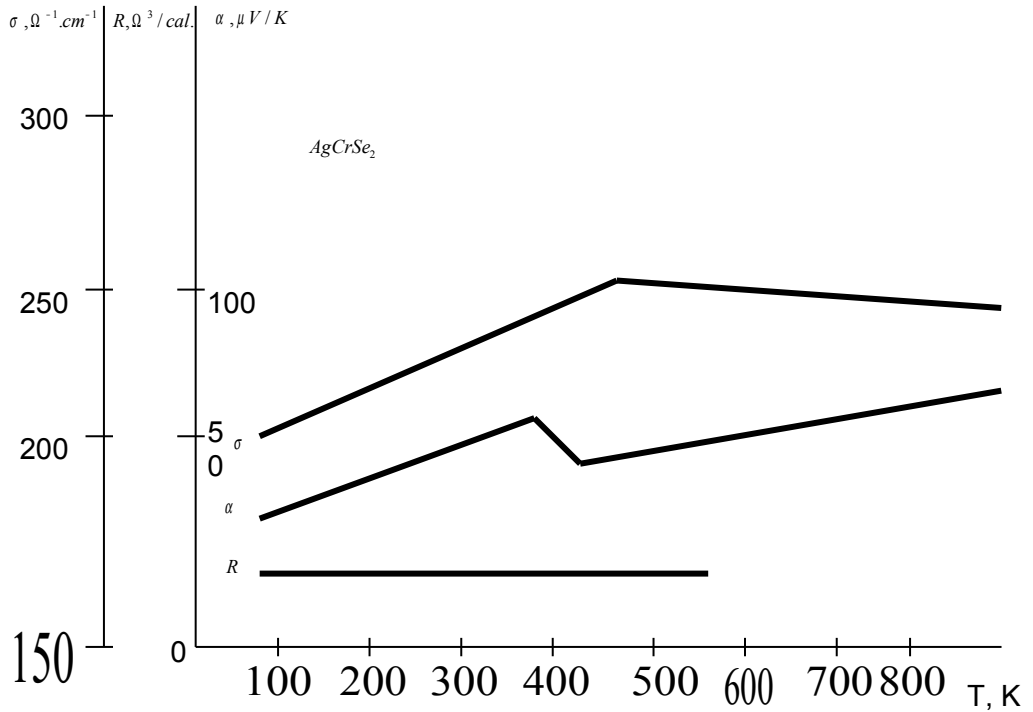
Bu pikin AgNiSe_2 bileşiğinin ergimesi ile bağlı olduğu kabul edilmiştir. Bileşiğin ergimesinden hemen sonraki 1093–1293 K aralığındaki ekzotermik pikin oksitlenmesi ile bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

AgNiSe_2 bileşiğindeki $\alpha - \beta$ faz geçişi kristallerin elektriksel ve ısısal özelliklerinin faz geçişindeki değişimin incelenmesine imkân sağlamaktadır.

Diferansiyel termogram araştırmalarından T_H , T_K , T_{erg} ve $T_{\text{buharlaşıma}}$ değerlerinden faz geçişinin aktivasyon enerjisi, entropisi, faz geçişinin ısı enerjisi bulunmuştur. β geçişi entropisi $\Delta S = Q/T_K$, aktivasyonu $E = R T_H^2 / b \tau$ olarak bulunmuştur.

4.2 AMX₂ Yarıiletkenlerinin Elektriksel Özellikleri

1- Hall ölçümleri AgCrSe₂ kristallerinde 80–700 K yük taşıyıcı yoğunluğunun $n = 2.10^{19} \text{ cm}^{-3}$ olduğu gösterilmiştir. Şekil 4.2’de iletkenliğin(σ), elektromotor kuvvetinin(α) ve hall sabitinin(R) sıcaklığa bağlı davranışı verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi iletkenlik 100–500 K aralığında sıcaklığa bağlı olarak lineer artış gösteriyor. Termoelektromotor kuvveti ise 100–400 K aralığında iletkenliğe benzer bir artış gösteriyor. 400 K civarında bir azalma göstererek ve sonra yeniden lineer artış gösteriyor. Hall sabiti ise sıcaklıktan bağımsız davranış gösteriyor. σ ve α ’nın sıcaklığa bağlı grafiklerindeki değişim (400 K) bu sıcaklık civarında bir faz geçişinin gerçekleşebileceğini gösteriyor. Aynı sıcaklık civarında fermi enerjisi değişiyor.



Şekil 4.2. İletkenliğin(σ), elektromotor kuvvetinin(α) ve hall sabitinin(R) sıcaklığa bağlı davranışı.

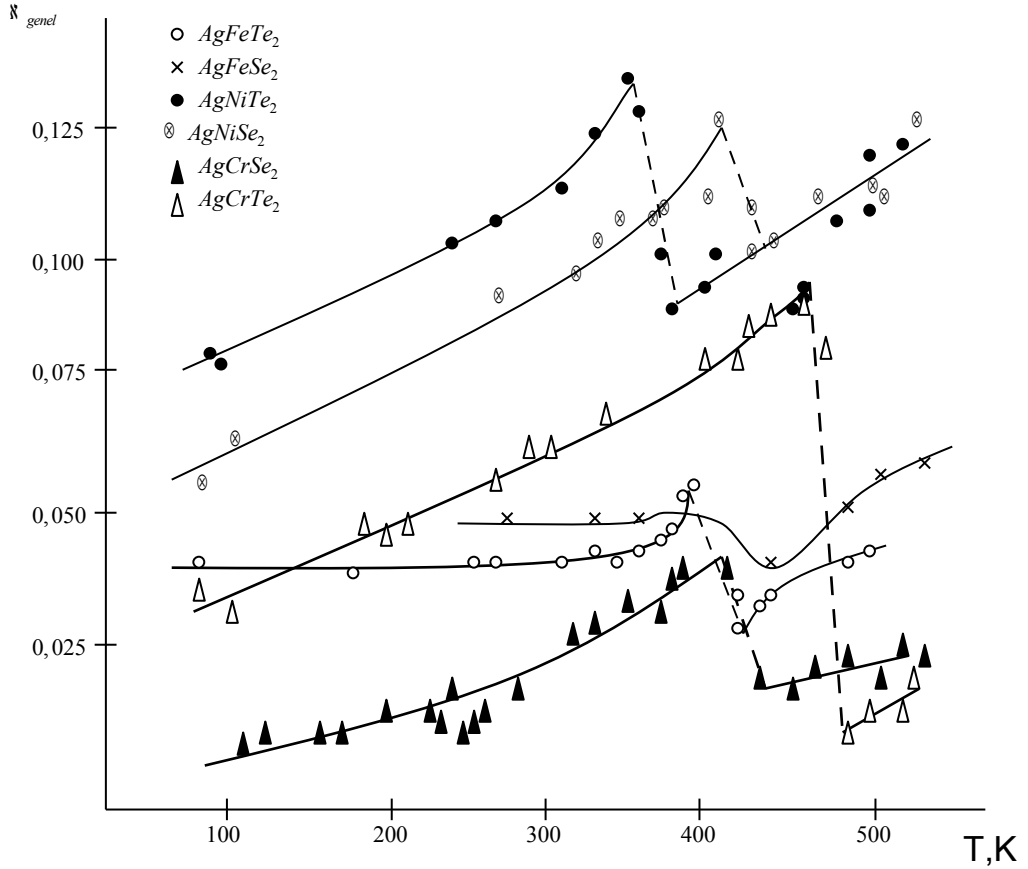
2- $T=400$ K civarında α ve σ ’daki değişim $\alpha - \beta$ geçişi ile ilgilidir. Bu sıcaklık civarında Fermi enerjisi;

$$E_F = E_{F0}(0\text{ K}) [1 - \pi^2 / 12 (k_B T / E_{F0} - E_C)^2] \text{ olarak artıyor.}$$

Yozlaşmış yarıiletken olan AgCrSe_2 kristalinde Fermi enerjisinin sıcaklığa bağımlı değişimi incelenmiştir. Buradan görüldüğü gibi bu yarıiletkende Fermi enerji sıcaklığa zayıf bağımlıdır. Bu nedenle hall katsayısı ve bulunan yük taşıyıcı yoğunluğu sıcaklıktan yaklaşık bağımsız olur.

$3 - \sigma(T)$ 'nin davranışı şiddetli katkılanmış yarıiletken davranışıdır. Sıcaklığın $T > 450\text{ K}$ değerindeki iletkenlik $\sigma(T)$ optik fononlardan saçılmalara bağlı olabilir. Aynı zamanda Ag ve metal tabakaları arasındaki Ag^+ iyonlarının mobilitesi (devingenliği) yeterince büyük oluyor. AgCrSe_2 'de bu sıcaklıktaki elektron iletkenliği üstündür.

Isısal iletkenliğin sıcaklık bağımlılığı Şekil 4.3'ten $T = 420\text{ K}$ civarında kesin değişim politipizm (faz) geçişi ile doğrudan bağlı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. Isısal iletkenliğin sıcaklık bağımlılığı.

AgNiSe₂, AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiTe₂ kristallerinin 77–300 K arasındaki elektriksel özdirenç araştırmaları Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi araştırılan üçlü bileşiklerin her birinde, özdirencin metalik ve yarıiletken davranışı vardır. Örneğin; metalik davranış AgCrTe₂'de T=200–250 K sıcaklık aralığında görülür. T=250–300 K aralığında kesin yarıiletken davranış görülür.

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E_A}{k_B T}\right)$$

ΔE_A deneysel verilerden $\sim 0,02$ eV bulunmuştur. Bu kusur, safsızlıkları oluşturan akseptör (alıcı) merkezlerinin yasak bant aralığındaki enerji düzeyi olabilir.

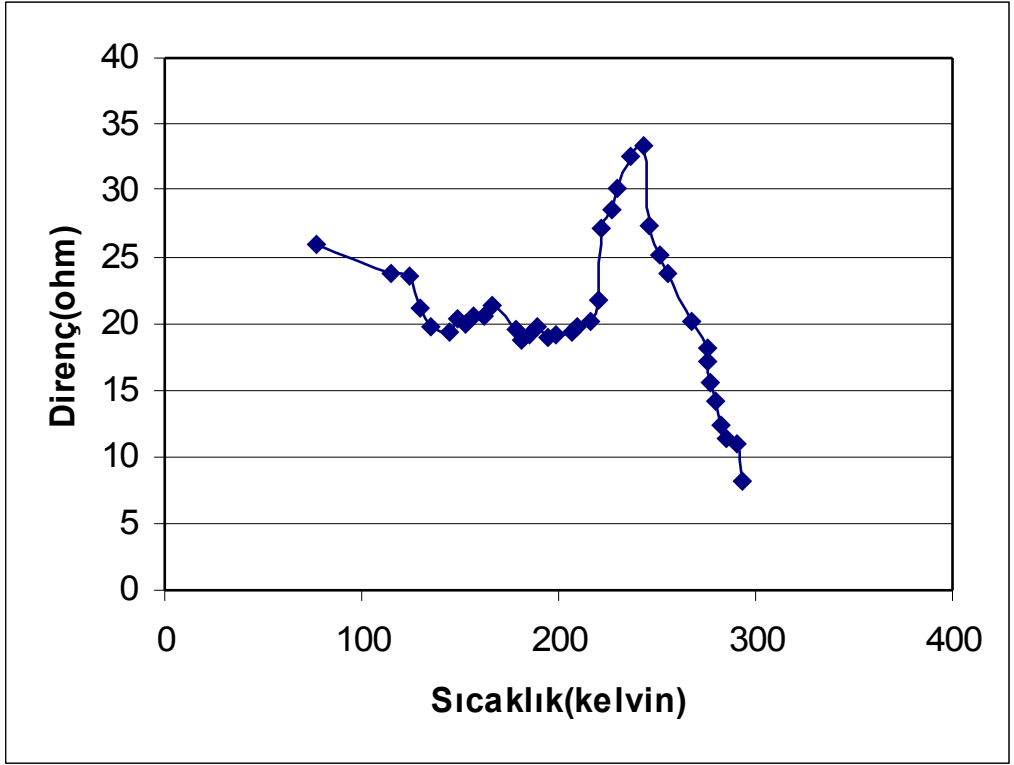
AgNiTe₂ kristallerinde T=77–120 K aralığında metalik iletkenlik söz konusudur. T=120–280 K aralığında (öz iletkenlik) özdirenç sıcaklığa bağımlı metalik değişerek devam ediyor. Bu bölgede özdirencin sıcaklık artışı yük taşıyıcıların fononlardan saçılması ile belirlenir.

AgNiTe₂ kristalinde 77–300 K sıcaklık aralığında yarıiletken davranış görülüyor. Sıcaklığın sonraki artışında yarıiletken davranış görülebilir.

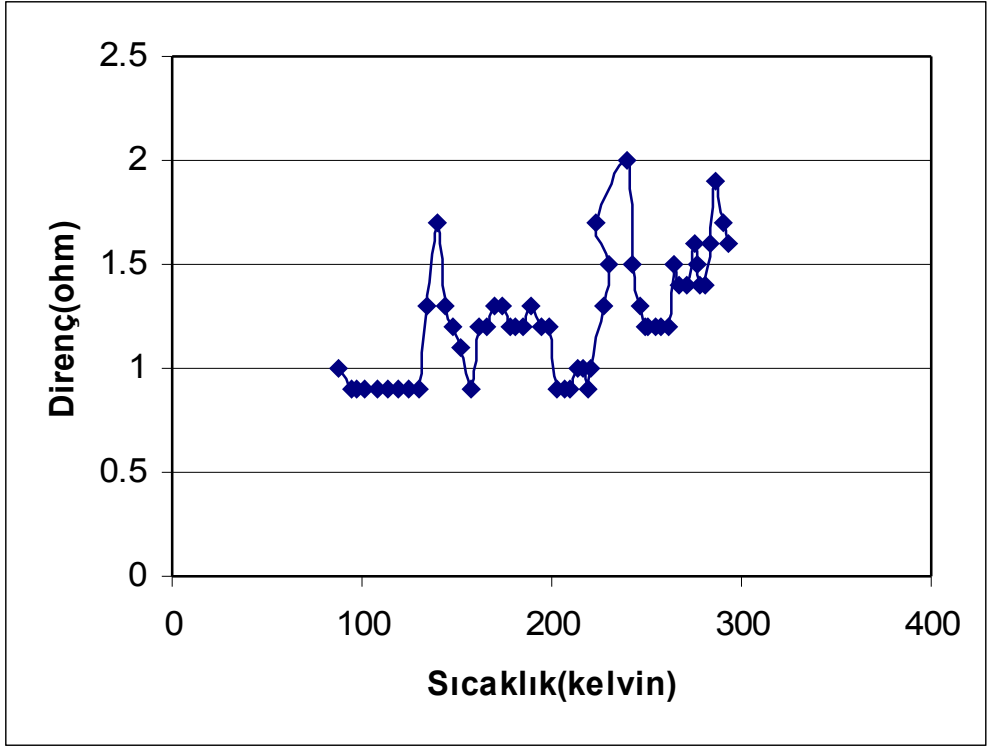
AgNiSe₂, AgCrSe₂ kristallerinin iletkenliği (özdirenci) sıcaklıktan farklı bir biçimde değiştiği Şekil 4.2'de verilen deneysel sonuçlardan görülmektedir. Literatürden de bilindiği gibi bu kristallerin faz geçişleri daha yüksek sıcaklıklarda görüldüğünden, yarıiletken davranış T = 280 K ve AgNiSe₂'de T = 250 K civarında görülmektedir. Araştırılan bileşiklerin hepsinde yük taşıyıcıların fononlardan unklap saçılması daha etkili olmaktadır.

Araştırdığımız kristallerde boyuna polar optik $\hbar \nu_p \sim 35$ meV enerjili fononlardan saçılmalar gerçekleşir. Bu fononlarda umklapp saçılmalar $\vec{K}' = \vec{K} + \vec{q} + \vec{G}$ özdirencin başlıca nedenidir. Bu kristaller ailesinin kusurlu yozlaşmış kristaller olması bizim çalışmalarımızda ve literatürden görülmektedir. Bu kristallerde yaptığımız Hall çalışmalarından yük taşıyıcı yoğunluğu $N_t > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olduğu görülmektedir. Bu yük yoğunluğunda Mott yarıiletken – metal geçişi gerçekleşir. Tüm üçlü bileşiklerin hepsinde iletkenliğin, özdirencin metalik davranışı görüldüğünden bu yozlaşmış yarıiletkenlerde Mott geçişi yarıiletken–metal geçişi gerçekleşmiştir. Bu kristallerde safsızlıklar, örgü kusurları çok yoğun olduğundan dolayı gerçekleştiği fikrindeyiz.

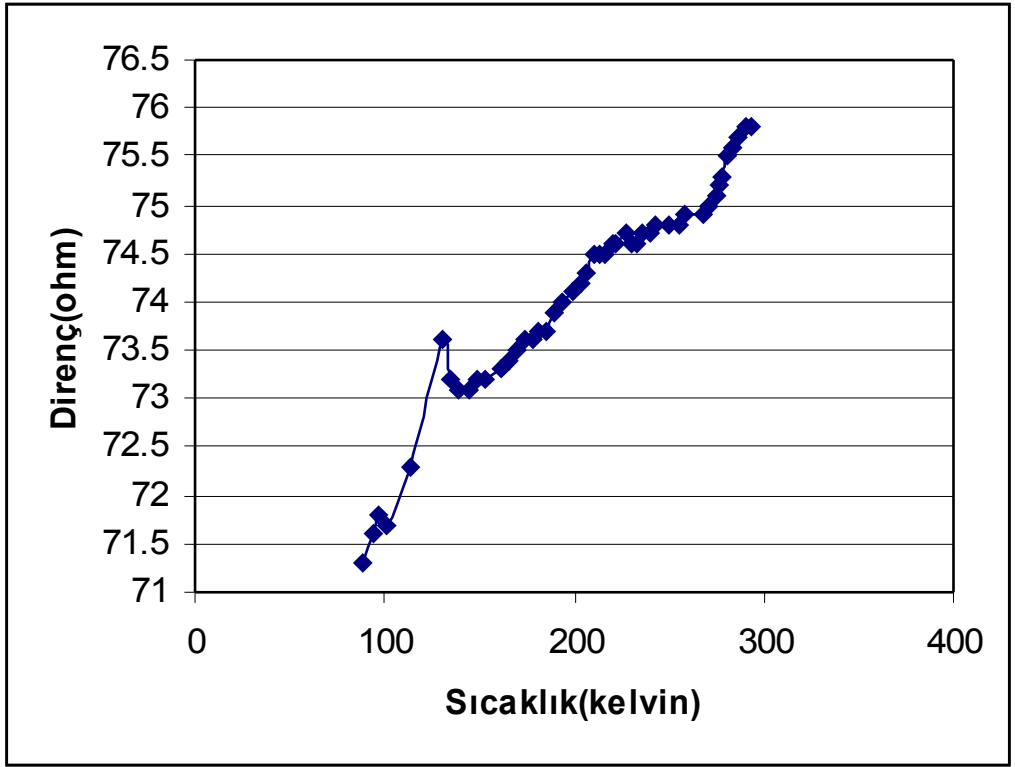
Sıvı azot sıcaklığında yapılan deneylerde AgCrTe₂, AgNiSe₂, AgNiTe₂ ve AgCrSe₂ kristallerinin değişen voltaj değerlerine karşılık gelen direnç değerleri alındı ve her kristalin sıcaklık–direnç grafikleri çizildi.



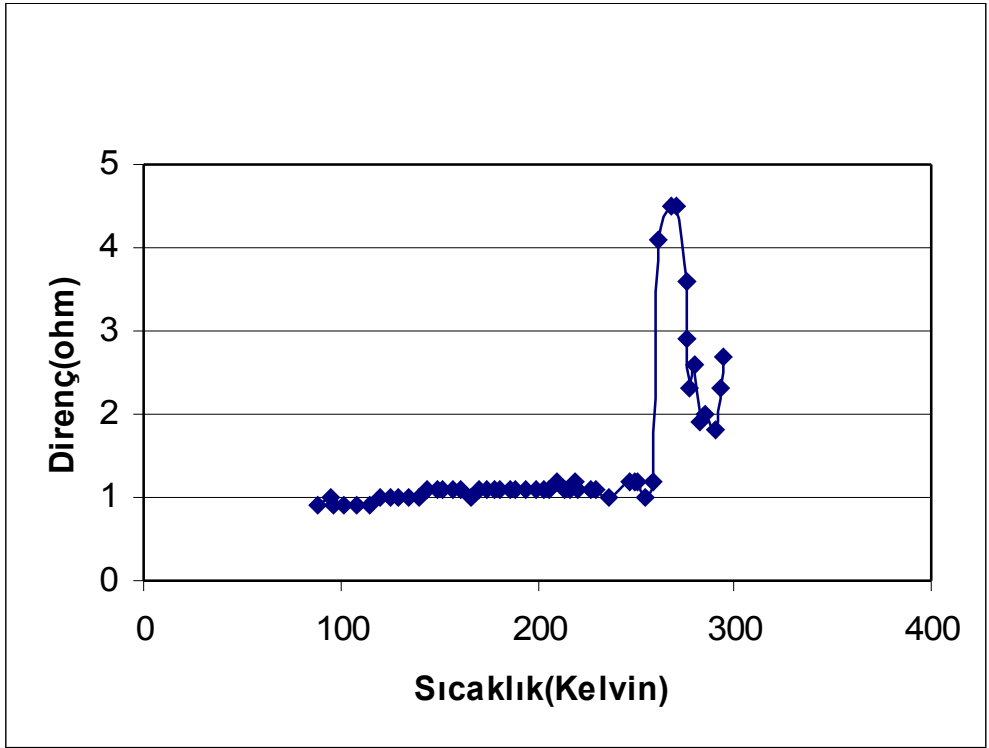
Şekil 4.4. AgCrTe₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.



Şekil 4.5. AgNiSe₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.



Şekil 4.6. AgNiTe₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.



Şekil 4.7. AgCrSe₂ kristal numunesinin Sıcaklık(K)-Direnç(Ω) grafiği.

Şekil 4.4'te AgCrTe_2 kristalinin grafiğinde görüldüğü gibi bu kristallerde sıcaklığın 260 K civarında sıcaklığa bağlı öz direnç, maksimum davranış gösteriyor. Bu sıcaklıktan sonra öz direncin sıcaklığa bağlı ciddi azalması gözleniyor. Öz direncin maksimum noktası bu materyalde bir faz geçişine karşılık gelebilir. Bu kristalden farklı olarak AgNiTe_2 numunesi de öz direncin sıcaklığa bağlı değişimi, 120 K civarında bir maksimum değer gösteriyorsa da sonra bir minimuma geçerek öz direnç artmaktadır. Sıcaklığın bu noktası da bir faz geçişine işaret olabilir.

Böylece öz direncin sıcaklığa bağlı davranışını incelemekle bu kristallerde sıcaklığa bağlı bir faz geçişinin gerçekleşebileceğini söyleyebiliriz. Ayrıca öz direncin sıcaklığa bağlı davranışı, bu kristallerin yarıiletken özelliğini tek değerli olarak belirtmiyor. Başka değişle, değişik sıcaklık aralıklarında grafiklerden görüldüğü gibi kristallerin hem metal hem de yarıiletken özellikleri meydana çıkıyor.

Çizelge 4.2. Sıvı azot sıcaklığında yapılan deneylerde her bir voltaj değerine karşılık gelen sıcaklık değerleri.

T(mV)	T(K)	T(mV)	T(K)
5.6	77	2.6	216.3
5.5	88.1	2.5	219.8
5.4	94.6	2.4	221.1
5.3	96.8	2.3	226.8
5.2	101.5	2.2	229.8
5.1	108.7	2.1	223.1
5	114.3	2	236.4
4.9	119.6	1.9	240.3
4.8	124.8	1.8	243.1
4.7	129.9	1.7	246.5
4.6	134.6	1.6	249.2
4.5	139.6	1.5	251.1
4.4	144.3	1.4	255.2
4.3	148.6	1.3	258.1
4.2	152.3	1.2	261.1
4.1	157.2	1.1	264.3
4	161.7	1	267.4
3.9	165.9	0.9	270.8
3.8	169.9	0.8	275.5
3.7	173.7	0.7	276.2
3.6	178.1	0.6	277.4
3.5	181.5	0.5	280.2
3.4	185.6	0.4	283.1
3.3	189.4	0.3	285.7
3.2	194	0.2	290.1
3.1	198.7	0.1	292.7
3	203.1	0	295
2.9	206.6	-0.1	297.9
2.8	209.9	-0.2	300.6
2.7	213.3	-0.3	303.5

Çizelge 4.3. AgCrTe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.

T(mV)	R(ohm)
5.6	26.1
5	23.8
4.8	23.6
4.7	21.2
4.6	19.9
4.4	19.4
4.3	20.4
4.2	20
4.1	20.6
4	20.6
3.9	21.4
3.6	19.7
3.5	18.8
3.4	19.2
3.3	19.8
3.2	19
3.1	19.3
2.9	19.5
2.8	19.8
2.6	20.2
2.5	21.8
2.4	27.3
2.3	28.6
2.2	30.3
2	32.6
1.8	33.4
1.7	27.5
1.5	25.3
1.4	23.8
1	20.3
0.8	18.2

Çizelge 4.3. AgCrTe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri. (Devam)

T(mV)	R(ohm)
0.7	17.2
0.6	15.7
0.5	14.3
0.4	12.4
0.3	11.4
0.2	11
0.1	8.3

Çizelge 4.4. AgNiSe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.

T(mV)	R(ohm)
5.4	0.9
5.2	0.9
5	0.9
4.8	0.9
4.6	1.3
4.5	1.7
4.4	1.3
4.3	1.2
4.2	1.1
4.1	0.9
3.9	1.2
3.8	1.3
3.6	1.2
3.4	1.2
3.3	1.3
3.2	1.2
3	0.9
2.9	0.9
2.7	1
2.5	0.9
2.4	1
2.3	1.3
2.2	1.5
2.1	1.7
1.9	2
1.8	1.5
1.7	1.3
1.6	1.2
1.2	1.2
1.1	1.5
1	1.4

Çizelge 4.4. AgNiSe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri. (Devam)

T(mV)	R(ohm)
0.8	1.6
0.7	1.5
0.6	1.4
0.4	1.6
0.3	1.9
0.2	1.7
0.1	1.6

Çizelge 4.5. AgNiTe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.

T(mV)	R(ohm)
5.5	71.3
5.3	71.8
5.2	71.7
4.7	73.6
4.6	73.2
4.5	73.1
4.4	73.1
4.3	73.2
4	73.3
3.9	73.4
3.8	73.5
3.7	73.6
3.5	73.7
3.3	73.9
3.2	74
3.1	74.1
3	74.2
2.9	74.3
2.8	74.5
2.6	74.5
2.5	74.6
2.3	74.7
2.2	74.6
2.1	74.6
2	74.7
1.9	74.7
1.8	74.8
1.6	74.8
1.3	74.9
1	74.9

Çizelge 4.5. AgNiTe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri. (Devam)

T(mV)	R(ohm)
0.9	75
0.8	75.1
0.7	75.2
0.6	75.3
0.5	75.5
0.4	75.6
0.3	75.7
0.1	75.8

Çizelge 4.6. AgCrSe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri.

T(mV)	R(ohm)
5.5	0.9
5.4	1
5.2	0.9
5	0.9
4.9	1
4.7	1
4.5	1
4.4	1.1
4.2	1.1
4	1.1
3.9	1
3.7	1.1
3.4	1.1
3.2	1.1
3	1.1
2.8	1.2
2.7	1.1
2.6	1.1
2.5	1.2
2.4	1.1
2.3	1.1
2.2	1.1
2	1
1.6	1.2
1.5	1.2
1.4	1
1.3	1.2
1.2	4.1
1	4.5
0.8	3.6

Çizelge 4.6. AgCrSe₂ kristal numunesinin yapılan deneylerde alınan voltaj ve direnç değerleri. (Devam)

T(mV)	R(ohm)
0.7	2.9
0.6	2.3
0.5	2.6
0.4	1.9
0.3	2
0.2	1.8
0.1	2.3
0	2.7

5. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, materyal olarak AMX_2 üçlü yarı iletkenler kullanılmıştır. Bunlardan $AgNiSe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiTe_2$ kristal numuneleri ele alınmış ve bu numunelerin elektriksel ve ısısal özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deney çalışmaları sıvı azot sıcaklığında stasyoner yöntemle yapılmıştır. Yüzüncü Yıl Üniversitesi laboratuvarında, sıvı azot sıcaklığında deney yapma olasılığı olmamasından dolayı bu deneyler, Kafkas Üniversitesi'nin katı hal fiziği laboratuvarında yapılmıştır. Katı hal fiziği laboratuvarında 77–295 K sıcaklık aralığında $AgNiSe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiTe_2$ kristal numunelerinin direncinin sıcaklığa bağlı değişimi incelendi. Bu ölçümler sonucu incelenen kristal numunelerinin yarıiletken özelliğe sahip olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca materyal olarak Yüzüncü Yıl Üniversitesi ve Kafkas Üniversitesi kütüphanelerinin kaynaklarından da faydalanılmıştır.

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Üçlü AMX_2 yarıiletken kristallerde $AgNiSe_2$, $AgCrSe_2$, $AgCrTe_2$, $AgNiTe_2$ numunelerinin ısı ve elektrik iletkenlerinin incelenmesine yer verilmiştir. Çalışmada incelenen kristal numunelerinin kristal ve bant yapıları literatür bilgilerine dayanarak elde edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda iletkenliğin (direncin) sıcaklığa bağlı değişimi deneysel olarak ölçülmüştür, bunun için sıvı azot sıcaklığı kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmalar Kafkas Üniversitesi'nin katı hal fiziği laboratuvarında 77–295 K sıcaklık arasında yapılmıştır. Adı geçen kristal numunelerinin direnci sıcaklığa bağlı olarak ayrıntılı incelenmiştir. Bu sıcaklık aralığında değişik numunelerde direncin sıcaklığa bağlı olarak davranışı, değişik olduğu görülmüştür. Örneğin, $AgNiTe_2$ kristalinde sıcaklık artıkça direncin artışı görüldüğü halde $AgCrTe_2$ kristali, sıcaklığın artması ile direnç 77–210 K sıcaklık aralığında düşüş gösteriyor. Sıcaklığın 250 K civarında, direnç artış gösteriyor ve maksimum değere ulaşıyor. Sıcaklığın sonraki artışı ile direnç önemli şekilde azalıyor. Bu numune için, sıcaklığa bağlı direncin bu tarzda değişmesi $T = 250$ K sıcaklığında bir faz geçişinin olması söz konusu olabilir. Direncin sıcaklığa bağlı değişimi öteki numunelerde de faz geçişi olayının yer olabileceğinin ipuçlarını veriyor. Örneğin; $AgNiTe_2$, 130 K'de $AgCrSe_2$ 270 K' de faz geçişi olabileceği grafiklerden görünüyor.

KAYNAKLAR

- Aliyev, M. I., Gasanov, Z.C., Guseynov, F.Z., 1974. İzv. AN. SSSR. *Neorg. Mat.* X, 1897.
- Aliyev, M.I., Gasanov, Z.C., 1979. *AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiSe₂, AgNiTe₂ bileşiklerinin termografik incelenmesi*. Bakü, EAD, B5: 1822.
- Gasanov, Z.C., 1978. *AgNiX₂ (X- Se, Te) bileşiklerinin elektriksel özelliklerinin incelenmesi*. Bakü, 24.
- Guseynov, F.Z., 1981. AgCrSe₂, AgCrTe₂, AgNiSe₂, AgNiTe₂ bileşiklerinin sentezi ve röntgenografik incelenmesi. *Az, SSR, E.A.*, **38**: 9-11.
- Hahn, H., Frank, A., Klingler, W., Meyer, A.D., Störger, G., Anorg. Z.S., 1954. *Allg. Chem*, 271, 153.
- Juze, V.P., Sergeeva, V.M., Ştrum, E.L., 1958. Yeni yarıiletken bileşikler. *Sov. J.Tech Phys.*, **2**: 233-236.
- Murphy, D.W., Sehm, M.C., Tall, B., 1977. Süperionik conduction in AgCrSe₂ and AgCrTe₂. *Electrochem soc.*, **124**: 1268-1271.
- Ştrum, E.L., 1960. *Sov. Phys. Solid. Stat.* 7, 1489.
- Tahirov, V.İ., 1984. *Yarıiletken fiziğinin esasları*. Fizika Riyaziyyat elmleri., Yay. No:328, Bakü. 56.

ÖZ GEÇMİŞ

1982 yılında Van'da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise öğrenimini Van'da tamamladı. 2004 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimi boyunca çeşitli okullarda görev yaptı.