

YARI İLETKENLERDE TERMOMANYETİK ETKİNİN İNCELENMESİ**Prof. Dr. İskender ASKEROĞLU****Alper ASLAN***Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi 60620 Tokat, Türkiye***ÖZET**

Yarıiletkenlerde termomanyetik etkinin incelenmesi konusunda, öncelikle termomanyetik alanın yarıiletkenler üzerinde etkileri göz önünde bulundurularak yarı iletkenleri tanımlama konusunda yardımcı olacak olan parametrelerin hesabı yapılacaktır. Ayrıca termomanyetik etkilerin yarı iletkenlerin elektron yapılarına olan etkileri araştırılacak ve bu etkilerin yarıiletkenlerin fiziksel yapılarına olan etkileri incelenecektir. Bilindiği gibi yarı iletkenler sahip oldukları elektron yapıları itibari ile kararlı yapıda değildirler. Kararlı halde olmadıkları için de dış etkilerden etkilenmeleri daha kolaydır. Bu sebeple dışardan mağruz bırakılacakları özellikle sıcaklık ve manyetik alanın yarı iletken üzerindeki etkilerini incelemek, daha kararlı ve daha verimli yarı iletkenler elde etme konusunda belirleyici olacaktır. Bir yarıiletken eğer sıcaklık ve manyetik alana mağruz bırakılırsa, yarıiletkenlerde olması gerektiği gibi, manyetik alan sıcaklığı artırır, manyetik alan sabit tutulup sıcaklık artırıldığında elektriksel iletkenlik artar, manyetik alan sabit tutulup hız artırılırsa elektriksel iletkenlik artar etkileri görülür. Temelde bir yarıiletkenin dış etkilerden nasıl etkileneceğini bulmak için yarıiletkenlerde termomanyetik etkinin temel parametreleri olan kinetik denklemlerin bilinmesi, kinetik denklemlerin bilinmesi için de denklemlerin sayısal çözümlerinde gerekli olan Fermi İntegrallerinin çözümlenmesi gereklidir. Yapılan çalışmada öncelikle dış etkilerin olmadığı bir ortamda bulunan yarı iletkenlerin Fermi İntegralleri kullanılarak kinetik denklemler için değerler elde edilecek ve daha sonra termomanyetik alana mağruz bırakılan yarıiletkenin Fermi İntegralleri çözümlenerek kinetik denklemleri elde edilerek, ilk değerlerle arasındaki farkların yarı iletken üzerindeki temel etkileri incelenecektir. Aynı işlemler farklı özellikteki gerek saf gerek katkılı yarıiletkenler için tekrarlanarak termomanyetik alan altında kullanılabilecek en ideal yarıiletkenin teorik olarak elde edilmesi sağlanacaktır. Teorik olarak elde edilmesi planlanan bu yarıiletken malzemenin aktif kullanımının olup olmayacağı eğer aktif kullanımı varsa kullanım alanlarının ne olacağı incelenecektir.

59

AnahtarKelime:Termomanyetik etki**INVESTIGATION OF THERMOMANYETIC EFFECT IN SEMICONDUCTORS****ABSTRACT**

In the investigation of the thermomagnetic effect in semiconductors, firstly parameters which will help to identify semiconductors will be taken into account by considering the effects of thermomagnetic field on semiconductors. In addition, the effects of thermomagnetic effects on the electron structures of semiconductors will be investigated and their effects on physical structures of semiconductors will be investigated. As it is known, semiconductors are not stable by their electron

structures. Because they are not stable, it is easier to be influenced by external influences. For this reason, examining the effects of temperature and magnetic field on the semiconductor will be determinant in obtaining more stable and more efficient semiconductors. If a semiconductor is exposed to the temperature and magnetic field, the magnetic field increases the temperature, the magnetic field is kept constant, the electrical conductivity increases when the temperature is increased and the magnetic field is held constant and the speed is increased and the electrical conductivity increases. In order to find out how a semiconductor will be affected by external effects, it is necessary to know the kinetic equations which are the basic parameters of the thermomagnetic effect in semiconductors, and to solve the Fermi integrals necessary for numerical solutions of the equations in order to know the kinetic equations. In the study, firstly the values of kinetic equations will be obtained by using the Fermi Integrals of the semiconductors which are in an environment with no external effects and then the kinetic equations of the semiconductor which is fused to the thermomagnetic field will be analyzed and the fundamental effects of the differences between the first values and the semiconductor on the semiconductor will be examined. The same processes can be repeated for both pure and additive semiconductors with different properties, and the ideal semiconductor to be used under the thermomagnetic field will be obtained theoretically. Whether the active use of this semiconductor material, which is planned to be theoretically, will be used or not, if it is active use will be examined.

Key Word: Thermomagnetic effect

1.GİRİŞ

Yarıiletkenlerde termomanyetik etkinin incelenmesi konusunda yapılan çalışmalarda temel olarak bilinmesi gereken, ele alınan bir yarı iletken üzerine etkiyen manyetik alanın yarı iletkenin kinetik değerleri olarak bilinen değerler üzerine ne gibi etkiler yaptığıdır. Rastgele bir küresel bağımlılığı bulunan yarıiletkenlerdeki termomanyetik etkiler teorik olarak incelendiğinde, manyetik alanın güçlü ya da zayıf olmasına bağlı olarak oluşan Maggi-Righi- Leduc etkisi, Ettingshausen etkisi ile Seeback, Thomson ve Peltier etkileri incelenebilir. Temel olarak bu etkileri incelemek yarı iletkenin hem güçlü manyetik alan hem de zayıf manyetik alanda ne tür değişimler göstereceğini anlamamıza olanak sağlar.

Girişte belirtildiği gibi, sıcaklık arttıkça, yarı iletken daha fazla **serbest yük taşıyıcıları**, iletim bandındaki elektronlar ve valans şeridindeki delikler, oluşur. Harici bir elektrik alanı yoksa, bu yüklü parçacıkların hareketi **kaotiktir** ve numunenin herhangi bir bölümü boyunca akım sıfırdır. Parçacıkların ortalama hızı, başka bir deyişle "Termal hız", ideal bir gazın moleküllerinin ortalama termal hızı ile aynı formülle hesaplanabilir

$$v_T = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \quad (1)$$

burada k – Boltzmann katsayısı; m – elektronların veya deliklerin etkin kütlesi.

Bilindiği gibi maddeler, elektriği iletme durumlarına göre iletken, yarı iletken ve yalıtkan olarak ayrılmaktadırlar. Bir maddenin elektriği iletmesi aslında bünyesinde barındırdığı serbest elektron miktarı ile ilgilidir. Günlük hayatımızda birçok alanda kullanılan malzemelerin elektrik iletme konusunda hangi kategoride değerlendirileceği, malzemeyi oluşturan atomların son yörüngesinde yani valans bandında bulunan serbest elektron sayısının bulunmasıyla yapılabilir.

Atom, merkezinde pozitif yüklü bir proton ve yüksüz nötron ile enerji seviyelerinde hareket eden elektronlardan meydana gelir. Bir yörüngede bulunabilecek maksimum elektron sayısı $2n^2$ bağıntısıyla bulunabilir. Bu bağıntıyla yörüngeleri KLMNPRQ olarak sıralanan enerji seviyelerinin

hangi sayıda elektrona sahip olacağı bulunabilir. Diğer yandan tüm atomlar son yörüngelerinde sekiz elektron bulundurarak kararlı hale geçmek ister. Eğer bir atomun değerlik bandında 1,2,3 elektron var ise bu atomun oluşturduğu maddenin bir iletken olduğunu, değerlik bandında 5,6,7,8 elektron bulunduran maddenin yalıtkan bir madde olduğu ve değerlik bandında 4 elektron bulunması halinde ise yarı iletken bir madde olduğunu söyleyebilir.

Yarı iletken malzemeler daha çok elektrik elektronik sanayide kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler, bileşik halde (çinko sülfür-bakır oksit) ve element (silisyum-germanyum) halde bulunabilirler. Yarı iletken malzemeler, kullanım alanlarına bağlı olarak katlandırılabilir, böylece de daha kullanışlı yarı iletkenler elde edilebilir. Bu tür bir işleme tabi olan yarı iletkenlere katlandırılmış yarı iletken denir. N ve P tipi yarı iletkenlerde N tipi bir yarı iletken, değerlik bandında 3 elektron bulunan bir yarı iletken değerlik elektronunda 5 elektron bulunan yarı iletken ile katlandırılırsa üç elektron komşu atomun elektronları ile kovalent bağ yapar. Fazla kalan bir elektron ortama verilir. P tipi yarı iletken son yörüngesinde 4 elektron bulunduran bir yarı iletken ile son yörüngesinde 3 elektron bulunduran yarı iletken ile katlandırılırsa son yörüngede bulunan elektronlar arasında yapılan bağda bir elektron dışardan alınması gerekir. Elektron bakımından fakir olan bu karışım elektriksel olarak pozitif yüklü iyon kabul edilir. Elektronun olmadığı yerler oyuk olarak adlandırılabilir. Oyuk yönünden zengin olan bu tip karışım ise P tipi yarı iletken olarak adlandırılır.

Genel terminoloji olarak, termomanyetik etki, sıcaklıkla manyetik alan arasındaki etkileşmeyi temel alır. Yaptığımız incelemede, bir yarı iletkenin barındırdığı elektron diziliminin ve bu sayede oluşan karakteristik yapının sıcaklık ile birlikte manyetik alanın olduğu ya da olmadığı ortamlarda ne tür değişikliğe uğradığının tespiti yapılacaktır.

Termomanyetik etkilerin anlaşılabilmesi için, termoelektrik etkilerden bahsetmek gerekir. Termoelektrik etkiler temelde 4 başlık altında yorumlanabilir. Bunlardan ilki olan Joule kanunu içinden akım geçen bir iletken üzerinde akımın karesiyle orantılı olan bir ısımanın iletken üzerinde birikeceğini ifade eder.

Termoelektrik etkilerin en genel incelemesi 1800 lü yıllarda Seeback tarafından yapılmıştır. Seeback sıcaklık ile elektrik elde etme üzerinde hazırladığı deney setinde iki metali ısıttığında metalin yakınında bulunan mıknatıs ile ısıtılan metallerin bir reaksiyon meydana getirdiğini gördü. Bu çalışmada ısınan metal üzerinde hareket eden serbest elektronların hareket etmeleri sebebi ile bir manyetik alan oluşturduğu ve bu mıknatıs etkisi ile deney setinde kullanılan mıknatısın bir reaksiyon oluşturduğu şeklinde düşünülebilirdi. Ancak açıklamanın daha doğrusu seeback tarafından ısıtılan metaller arasındaki sıcaklık farkının bir potansiyel fark oluşturduğu, bu potansiyel farkın bir akım meydana getirdiği şeklinde açıklandı. Kısacası sıcaklık farkının bir potansiyel gerilim oluşturması Seeback etkisi olarak bilinmekteydi.

Yarı iletkenlerde incelenecek olan diğer bir etki ise Peltier etkisidir. Bir metal üzerine akım uygulanırsa metalde bulunan elektronlar akım yönünde hareket ederek bir uçtan diğer uca akar. Akan elektronlar sahip oldukları enerjiyi de beraberinde götüreceği için, elektronun aktığı yönde bir ısı akımı da oluşur. Dolayısıyla Peltier etkisi Seeback etkisinin tersi olarak yorumlanabilir.

Thomson etkisi ise bir iletkenin farklı iki noktasından alınan sıcaklık değerlerinin aynı olmayacağını ifade eder. Bu iki farklı nokta arasındaki sıcaklık farkına ise Thomson ısısı denir. Thomson etkisinin fiziksel nedeni, iletkenlerde serbest iletim elektronlarının görsel bir temsiliyi baz alırsak kolayca anlaşılabilir. Gerçekten de, elektrik akımının aktığı iletken boyunca bir sıcaklık düşüşü varsa, ama akımın yönü elektronların sıcak uçtan soğuğa doğru ettiği hareketine tekabül ediyorsa, daha sıcak kısımdan daha soğuğa geçerken elektronlar, etrafındaki atomlara fazla enerji transfer ederler, dolayısıyla iletken ısınır(ısı serbest bırakılır); akımın ters yönde olması durumunda, daha soğuk kısımdan daha sıcakta geçerken elektronlar, kendi enerjilerini etrafındaki atomlardan tamamlarlar (ısı emilir).

Temelde biliyoruz ki bir ortam içinde olan var olan yüklü parçacık etrafında bir elektrik alan meydana getirir. Bunun yanında bir ortam içerisinde belli bir hızla hareket eden yüklü parçacık etrafında bir manyetik alan meydana getirir.

Bilindiği üzere yarıiletken maddeler normal şartlar altında yalıtkan olan ancak üzerine ısı, ışık, manyetik alan v.b. dış bir etki uygulandığında iletken halini alan maddelerdir. Bu maddelerin elektrik ve elektronik sanayide bu derece yaygın kullanım alanı bulmalarının sebebi olarak da yalıtkan-iletken dönüşümünü yapabilme özelliği gösterilebilir.

Bir yarıiletkenin termomanyetik alan etkisi altında nasıl davranacağı yarıiletkenin kinetik denklemlerinin ne tür etki altında kalacağı ile ilgilidir. Bu kinetik denklemler temel yapıları bakımından incelendiğinde fermi integrallerine dönüşürler. Kısacası termomanyetik alanın etkileri kendilerini en iyi yarıiletkenlerin kinetik denklemlerinin tanımlanmasında kullanılan fermi integrallerine yaptıkları etkilerle gösterirler.

Böylelikle, görüyoruz ki, iletim bandı modeli seçimine bağlı olarak, zayıf ve güçlü manyetik alandaki yarıiletkenlerindeki kinetik katsayılar tek-, çift- ve üç-parametrelili Fermi integralleriyle ifade edilirler.

Düzensiz manyetik alanda olan dejenere yarıiletken için esas kinetik katsayıların formüllerinin türetilmesi için, ϵ elektron enerjisi sadece k dalga vektörüne bağlı olduğu, bunun da parabolik olmayan bantlar hariç küresel-parabolik durumların tümünü kapsadığı varsayılmıştır.

Hesaplamalar, τ gevşeme süresi yaklaşımında yapılmıştır. Ama, τ 'nın ϵ enerjisine kesin bağılılığı hesaba katılmamıştır (τ , ϵ 'dan bağımsız keyfi fonksiyon hesaplanmıştır), bu yüzden elde edilen formüller karışık dağılma mekanizmalarıyla da uyumludur.

Aşağıda da göreceğimiz üzere, dejenere yarıiletkenlerin karakteristik parametrelerini (hareketlilik, konsantrasyon, etkin kütle, dağılma parametresi) belirlemek için termomanyetik etkilerin ölçülmesi daha pratiktir ve bu etkileri herhangi bir manyetik alanda da ölçmek mümkündür.

Termomanyetik olayların araştırılması alanı şu anda $T > 20-30K$ aralığı ile sınırlıdır, ancak $T < 20K$ düşük sıcaklıklara doğru genişletmek gerekir ve bu niteliksel olarak yeni etkilere yol açabilir. [1]

Manyetik alanın, Nernst-Ettingshausen'in etki koşulları altında, boyuna ve enine termomanyetik etkileri üzerindeki etkisinin araştırılması büyük ilgi görmektedir. Bu araştırmalar, yüksek hareketlilik ve düşük elektron konsantrasyonuna sahip kristallerde gerçekleştirilmelidir.

Bu amaçla, araştırılan örnekte alıcı ve verici seviyeleri, Fermi seviyesi ve safsızlık konsantrasyonlarının oranlarının değişken olarak seçilmelidir. Pozitif bölgede minimum $R(T)$ büyüklüğünde bir çift derinlikli $R(T)$ işareti olan örnekleri araştırmak, ki bu da diğer kinetik katsayılar üzerindeki etkisinin izlenmesi ve elektron konsantrasyonunun sıcaklığın $n \sim T^K$ kuralındaki K derecesi üzerindeki sıcaklığa bağlı olmasını sağlayacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

IM Tsidilkovsky'nin [2] kitabında, geçen yüzyılın başında başlayan ilk çalışmaların önemli bir analizi verilmiştir. Bu kaynak şu an bile her araştırmacı için eğitici durumundadır. Termomanyetik katsayıları ölçmeye yönelik ilk denemeler, Lloyd [3] ve Wald [4] tarafından tellurda yapılmıştır. Wald, elektrotların ve termokupların lehimlendiği dökme Te örneklerini kullandı. Numunedeki sıcaklık gradyanı sadece ısıtıcı tarafından, bir ısı emicisi oluşturuldu. Elbette, bu ölçümde, temel hatalar vardır.

Bir ısı emicinin yokluğu, sabit koşulların oluşmasına izin vermez ve ayrıca çalışmaların sıcaklık aralığını sınırlar. Bir manyetik alanda termal iletkenlik, çubuk şeklindeki bir numunenin bir ucunun periyodik olarak ısındığı ve periyodik olarak her bir noktasındaki sıcaklığı ölçtüğü sıcaklık dalgaları

yöntemi ile ölçülmüştür. Çubuğun çeşitli noktalarında ölçülen sıcaklıktaki değişikliklerle, numunenin termal difüzyivitesi belirlenir ve daha sonra, ısı kapasitesi kullanılarak, termal iletkenliği hesaplanır. Böylece, ~ 373 K'de 305-593 K aralığında Nernst-Ettingshausen etkisinin (NE) sıcaklığa bağlı olarak $Q_{\perp}$ (T) üzerinde bir minimum gözlemlenmiştir. Rigi-Leduc (R-L) ve Maggi-Regi-Leduc (M-R-L) etkilerinin katsayıları ölçülmüştür. H-E'nun silikondaki enine etkisi [5-6] çalışmalarıyla arsenikte araştırıldı. [7] 8000 E'ye kadar olan alanlarda, termal iletkenlikteki değişiklik tespit edilememiştir. H-E'nin iyi iletken numunelerdeki bakır oksit numunelerinin enine etkisinin MM Noskov tarafından gerçekleştirildiği bir çalışma [8]'de gösterilmiştir. Enine elektrotlar arasında sabit bir sıcaklık gradyanı ile, enine alan H-E olarak alınan potansiyel farkın ölçüldüğü açıklanmaktadır. Bununla birlikte, bu elektrotlar arasında, aynı anda, bu elektrotların eşit sıcaklık yüzeyinden kaynaklanan termoelektrik kaynaklı potansiyellerin bir farkı vardı. Böyle bir durumda bir manyetik alanın dahil edilmesi, termoelektrik etki ile ilişkili potansiyelde bir değişikliğe yol açmıştır. Elbette bu, özellikle yüksek elektron hareketliliğine sahip yarı iletkenler için $Q_{\perp}$ 'nin gerçek değerini önemli ölçüde bozmalıydı ve hatalar çalışılan etkinin değerini aşabilirdi. Benzer çalışmalar, son yüzyılın ellilerine kadar yapılmıştır [9-10]. İlk aşamada yarıiletkenlerde termomanyetik olay teorisi [9-11] tarafından geliştirilmiştir. [11-12] 'de, termomanyetik fenomenler ilk önce elektron gazı modeline dayanılarak düşünülmüştür. Maxwell ve Fermi-Dirac istatistiklerinin enine etkileri hesaplanmıştır. İfadeler, ısı transferinin varsayımı altında elde edilir. Sadece elektronlar tarafından gerçekleştirilir ve konsantrasyonları sıcaklığa bağlı değildir. Tabii ki, yarı iletkenler için, bu varsayımlar uygunsuzdur, çünkü ısının kristal kafes tarafından onlara aktarılması çok daha fazladır. Bir elektronun kendi enerjisinden serbest yolunun bağımsızlığı varsayımı altında yaratılan Sommerfeld'in teorisi, yalnızca H-E etkisinin pozitif işaretini açıklamayı mümkün kıldı, ancak etkinin sıklıkla gözlenen olumsuz işaretinin nedenini açıklayamadı.

3. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Termomanyetik ve termoelektrik fenomenlerin çalışmalarından elde edilen tamamlanmış sonuçlar 1960'lardan sonra elde edilmiştir. Bu zamana kadar, basit izotropik ve kuadratik dispersiyon yasası için $\varepsilon(K)$ elektronları için kinetik olgu teorisi geliştirilmiştir. Bu da, diğer fenomenleriyle birlikte yük transferinin özünü ve termomanyetik -termoelektrik fenomenler ile birlikte anlamaya olanak sağladı. Kirlilik ve içsel iletkenlik bölgesindeki her bir katsayının manyetik alana olan bağımlılıkları ve sıcaklığa olan bağımlılıkları analiz edilmiştir. Geniş bir sıcaklık ve konsantrasyon aralığında birçok yarıiletkenlerde elektron saçılımının ana mekanizmaları açığa çıkartılmıştır. Kane'in, n -InSb tipi dar aralıklı yarı iletkenler için ışık deliklerinin değerlik bandıyla iletim bandının etkileşimini hesaba katarak, iletken elektronlar $\varepsilon(K)$ için dispersiyon yasasının, kuadratik formdan önemli ölçüde farklı olduğunu gösterdiği bilinmektedir.

Saflik derecesi, yasak bant genişliğiyle ters orantılıdır ve elektron konsantrasyonuna doğru orantılıdır. Parabolik formdan böyle güçlü bir sapmanın deneysel doğrulaması etkili elektron kütlesi $m^*(n)$ 'nin konsantrasyon bağımlılığını belirlenmesine işaret edilmiştir. Etkili kütleyi belirlemek için, bir dizi karmaşık optik aleti gerektiren, siklotron rezonans yöntemi ve Faraday etkisi uygulanmıştır. H-E'nin klasik olarak güçlü manyetik alanlardaki $\Delta\alpha_{\infty}$ uzunlamasına termomagnetik etkisinin ve zayıf alanlarda H-E'nin enine termomanyetik etkisinin, saçılma mekanizmasına ve dağılma yasasına bakılmaksızın sabit bir değer elde ettiğine dikkat çekilmiştir. Bu katsayıların değerlerini ve Hall katsayısının kuvvetli bir manyetik alandaki değerini kullanarak, çok dar aralıklı SnS, HgSe, HgTe, PbTe, PbSe, PbS, bunlara dayalı katı çözeltiler ve aralıksız yarı iletkenler için konsantrasyon bağımlılıkları $m^*(H)$ belirlenmiştir. Bu, her biri için dispersiyon yasasını ortaya koymamıza ve Kane modelin uygulanabilirliğinin sınırlarını belirlememize ve bu modeldeki

sapmanın nedenlerini incelememize olanak sağlamış, ki bu da genel olarak dar aralıklı ve boşluksuz yarıiletkenlerde bant yapısının gelişmesine neden olmuştur.

Bu sorunun teorik bir analizi, yaklaşık 30-250 K civarında, elastik olmayan elektron-elektron ve elektron fonon (optik) etkileşimlerinin koşullarının gerçekleştirildiğini göstermiştir. Elastik olmayan saçılmanın sadece bir sıcaklık gradyanının varlığında ortaya çıkan etkilerde meydana geldiği, yani; termomanyetik ve termoelektrik olaylarda meydana geldiği açıktır.

Deney sonuçları (HgSe, Ag₂Te, PbTe, Pb_{1-x}Sn_xTe, vb.) Teori ile karşılaştırılmış ve esnekliğin esas olarak elektron-elektron çarpışmasından kaynaklandığı ve optik fononlarla ilişkili esneklik (60-150 K aralığında) % 5'i geçmediği bulunmuştur.

Manyetik alanın, N-E uzunlamasına ve enine termomanyetik etkileri üzerindeki etkisinin, elektronların fononlar tarafından sürüklenmesinin etkisi koşulları altındaki teorik analizinin sonuçları dikkat çeker. Elektron gazının dejenerasyonunda kristal olmayan bir dağılımın uzunlamasına ve enine etkilerin bulunmadığı bir yasada parabolik durumdan sadece nicel olarak değil, aynı zamanda niteliksel olarak da farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu teori deneyle doğrulanmıştır.

T'nin artmasıyla elektron enerjisi artar ve alıcı seviyelerine ulaşır, lokalizasyon süreci başlar. Bu, n'de bir azalmaya yol açar ve T'nin daha fazla artması, valans bandından elektronların geçişlerine neden olur, bu da n(T)'nin minimumdan geçmesine yol açar.

En etkili ve en dikkat çeken hususlardan biri, sıcaklık, (-) ile (+), daha sonra (+) ile (-) arasındaki arttığında Hall katsayısı R(T)'nin işaretindeki çift değişimdir. Bu tür bir geçişin olağandışı özelliği, yüksek mobiliteli elektronların (dar aralıklı) negatiflikten pozitifliğe kadar olan iletkenliğinin işareti tespit edilmiştir. Bu fenomen birkaç çalışmada daha görüldü, her birinde farklı açıklamalar öne sürüldü. İki durumda, bu çalışma altındaki örneklerin stokiyometrik homojen olmamasına atfedilmiştir ve bu onların ortadan kaldırılmasıyla kanıtlanmıştır.

4. KAYNAKLAR

Blatt, F.D., Katılarda elektronların hareketliliği teorisi, Per. İngilizce, M.-L., 1963; Tsidilkovskii IM, Yarıiletkenlerde Thermomagnetic fenomeni, Moskova, 1960.

Leduc A. Comp. rend. 104, 1783, 1887.

Цидильковский И.М. Термомагнитные явления в полупроводниках. Гос. Изд. Физ-мат. лит. Москва, 1960.

Lloyd M.G. Amer. J. Sci. 12, 57, 1901.

Wold O.E. Phys. Rev. 7, 169, 1916.

Buckley O.E. Phys. Rev. 4, 482, 1914.

Gottstein G. Ann. Phys. 43, 1070, 1914.

Little N.S. Phys. Rev. 28, 418, 1926.

Носков М.М. ЖЭТФЭ, 401, 1937.

Бронштейн М.П. Sov. Phys. 2, 28, 1932.

Писаренко И.Л. Уч. Зап. Лен. Пед. Ин-та, 31, 5, 1940.

Писаренко Н.Л. Изв. АН СССР, сер. физ., 5, 417, 1941.