

## ELECTRON MOBILITY IN RELAXED $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ AND $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$ SEMICONDUCTORS AND THE EFFECT OF DISLOCATION SCATTERING

Mehmet KASAP, Selim ACAR\*

*Gazi University, Faculty of Science and Arts, Department of Physics, Teknikokullar, 06500, Ankara, TURKEY, e-mail: sacar@gazi.edu.tr.*

Bora ALKAN

*Ankara University, Faculty of Engineering, Engineering Physics Department, Tandoğan, 06100, Ankara, TURKEY*

### ABSTRACT

To explain the behavior of Hall mobility versus temperature T behavior in  $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$  and  $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$  detailed calculations have been carried out based on Kubo formula by taking the dislocation scattering as the dominant scattering mechanism. A good agreement has been obtained between the theory and the experiment.

*Key Words: Hall mobility, dislocation scattering, Kubo formula*

## $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ VE $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$ GEVŞEK TABAKALI YARIİLETKENLERDE ELEKTRON MOBİLİTESİ VE DİSLOKASYON SAÇILMASININ ETKİSİ

### ÖZET

$\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$  ve  $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$  yarıiletkenlerinde Hall mobilitesinin sıcaklığa (T) karşı davranışını açıklamak için Kubo formülüne dayanan detaylı hesaplamalar yapıldı. Baskın saçılma mekanizması olarak dislokasyon saçılma mekanizması ele alındı. Teori ve deney arasında iyi bir uyum elde edildi.

*Anahtar Kelimeler: Hall mobilitesi, dislokasyon saçılması, Kubo formülü*

### 1. GİRİŞ

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , çeşitli yüksek hızlı elektronik ve optoelektronik aygıtlarda oldukça geniş uygulama alanı bulan önemli bir alaşım yarıiletkenidir (1,2).  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 'ta olan bu büyük ilgi fotodetektörlere (3), yarıiletken lazerlere (4) ve tunel diyotlara dayanan aygıtlarla ilgilidir. Bununla birlikte,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ve  $\text{GaAs}$  farklı örgü sabiti, yüksek sıcaklıklarda elektron iletim özelliklerini güçlü bir şekilde etkileyen dislokasyonlar meydana getirir. (5).

Önceki bir çalışmada (6), plastiksels gevşek  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  materyallerde sıcaklığın (4.2-300 K) ve basıncın (0-8 kbar) fonksiyonu olarak, alaşım kompozisyonunun geniş bir aralığında, elektron iletimini araştırıldı. Alaşım kompozisyonunun  $x=0.3-0.60$  aralığında gözlenen mobilitedeki düşüş, dislokasyon saçılma mekanizmasının yaygın formu ( $\mu \propto T^{3/2}$ ) ile açıklanamadı. Plastiksels gevşek tabakalı  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  sistemde, artan alaşım kompozisyonu (x) ile plastik deformasyon derecesi artar. Böyle bir deformasyon yasak enerji aralığının ortalarında

### 1. INTRODUCTION

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  is an important ternary semiconductor that finds widespread applications in various high-speed electronic and optoelectronic devices (1,2). The great interest in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  is related to the devices based on these structures including photodetectors (3), semiconductor lasers (4) and resonant tunneling diodes. However, the difference in the lattice constant of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  and  $\text{GaAs}$  leads to the occurrence of dislocations (5) which affects the electron transport properties strongly even at high temperatures.

In a previous study (6), we investigated the electron transport in plastically relaxed  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  materials as a function of temperature (4.2 to 300 K) and pressure (0 to 8 kbar) for a wide range of the alloy compositions. The observed decrease in the mobility in a limited alloy composition range  $x=0.3-0.60$  could not be explained with the usual form ( $\mu \propto T^{3/2}$ ) of dislocation scattering mechanism. In plastically relaxed  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  system, the degree of plastic deformation increases with

veya üst kısımlarında alıcı tipi enerji seviyeleri üretebilir. Bu seviyelerin dislokasyonlardaki açık bağlar ile alakalı olduğuna inanılır, eksik elektronlu açık bağ çifti oluşturmak için diğer bir elektronu kabul eder. İletkenlik bandından alınan bu elektronlar dislokasyonlara bağlanırlar ve dislokasyonlar pozitif uzay yükünün silindiriksel bir bölgesi tarafından negatif yük çizgileri ile çevrelenmiş olur ki böylece dislokasyon çevresindeki elektrostatik potansiyel bozulur. Bu durum daha önce (6) plastiksel gevşek  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  materyalinde gözlenen alaşım kompozisyonu  $x=0.30-0.60$  sınırları arasında taşıyıcı yoğunluğundaki önemli düşüşün nedenidir.

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  materyalinde, yüksek dereceli tabaka gevşemesi meydana geldiğinde oluşan yüklü dislokasyonlar güçlü saçılma merkezleri gibi davranacaklarından böyle materyallerde mobilitedeki düşmeyi açıklamak için, mobilite analizlerinde dislokasyon saçılması dikkate alınmalıdır. Yukarıdaki tartışmanın ışığında, teori ve deney arasında iyi bir uyum elde etmek için ve önceden de (6) önerildiği gibi, dislokasyon saçılmalarının sıcaklığa bağımlılığı  $T^{3/2}$  den yüksek olması gerektiğini öneriyoruz. Bu nedenle bu çalışmada, mobilite hesaplamalarında; dislokasyon saçılma mekanizması tarafından kontrol edilen mobilitenin Kubo ifadesine dayanarak türetilen ( $\mu \propto T^2$ ) (7) formunu kullandık.

## 2. HESAPLAMALAR

Kubo lineer tepki teorisinin korelasyon fonksiyonun değişimi ile elde edilen dislokasyon saçılmalarından kaynaklanan mobilite aşağıdaki gibi verilir (7)

$$\mu_D = \frac{8\pi a^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2 (kT)^2 I_2}{3\hbar N_D f^2 e^3 I_1^2} \quad [1]$$

Burada  $a$  alıcılar arası mesafe,  $f$  alıcı durumların doldurulma ihtimaliyeti,  $N_D$  dislokasyon yoğunluğu,  $\varepsilon$  dielektrik sabiti  $\varepsilon_0$  serbest uzayın geçirgenliği ve  $e$  elektron yükü.  $I_1$  ve  $I_2$  aşağıdaki gibi verilir.

$$I_1 = \int_{y_c}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y^2} (2y+1) \frac{\sqrt{4y-y_c}}{\sqrt{y_c}} dy \quad [2]$$

$$I_2 = \int_{y_c}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y^3} \left( 13 - \frac{4y-y_c}{3y_c} \right) \frac{\sqrt{4y-y_c}}{\sqrt{y_c}} dy \quad [3]$$

burada

$$\text{where} \quad y_c = \frac{\hbar^2 N_D}{2m^* kT} \quad [4]$$

Yaygın dislokasyon mobilitelerinin ( $\mu \propto T^{3/2}$ ) aksine, Eş.1'de verilen dislokasyon mobilitesi ( $\mu \propto T^2$ ), açık bir şekilde etkin kütle ( $m^*$ ) içermez fakat kesilme parametresi  $y_c$ ,  $I_1$  ve  $I_2$  integralleri yoluyla etkin kütle içerir (detaylar için bakınız Ref. 7).

İncelenen numuneler için atmosfer ve 4 kbar basınçta  $y_c$  ve  $I_1$ ,  $I_2$  integralleri hesaplandı, sonuçlar  $x=0.51$  için atmosfer basıncında ve  $x=0.60$  için 4 kbar basınçta, Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verildi.  $I_1/I_2$  oranının  $y_c$  bağıntısındaki sıcaklık ve basınçtaki değişimden bağımsız

increasing alloy composition  $x$ . Such a deformation can produce acceptor type energy levels lying in the middle or upper half of the band gap. These levels are believed to be associated with the dangling bonds on the edge dislocations, the unpaired dangling accepting another electron to form a pair. As extra electrons from the conduction band join to the dislocation, the dislocation becomes a negatively charged line surrounded by a cylindrical region of positive space charge, thus the electrostatic potential is distorted in the vicinity of a dislocation. This is the reason of a dramatic decrease in the carrier concentration in a limited alloy composition range  $x=0.30$  to  $0.60$  which was observed previously (6) in plastically relaxed  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  materials.

When analyzing the measured mobility to explain the decrease in the mobility, the dislocation scattering should be taken into account since the produced charged dislocations behave as strong scattering centers in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  materials when a high degree of relaxation occurs. In the view of this point, we claim that to obtain an agreement between the theory and the experiment, the dislocation scattering should have temperature dependence higher than  $T^{3/2}$  as suggested previously (6). Therefore, in this work in the mobility calculations we used a formula ( $\mu \propto T^2$ ) (7) derived on the basis of Kubo expression for the mobility limited by dislocation scattering mechanism.

## 2. CALCULATION

The mobility limited by dislocation scattering obtained from the correlation function variant of Kubo linear response theory is given (7) as

where  $a$  is the acceptor separation,  $f$  is the occupation probability of acceptor sites,  $N_D$  is the dislocation density,  $\varepsilon$  is the dielectric constant ( $\varepsilon_0$  is the permittivity of free space and  $e$  is the electronic charge.  $I_1$  and  $I_2$  are given by

The dislocation mobility ( $\mu \propto T^2$ ), which seems contrary to the usual expression ( $\mu \propto T^{3/2}$ ), given in Eq.1 does not include effective mass  $m^*$  explicitly but it contains effective mass  $m^*$  via the cut-off parameter  $y_c$  and  $I_1$  and  $I_2$  integrals (for details see Ref. 7).

We calculated  $y_c$  and  $I_1$ ,  $I_2$  integrals at atmospheric and 4 kbar pressures for the samples considered, and the results for the samples with  $x=0.51$  at atmospheric pressure and  $x=0.60$  at 4 kbar are given in Table 1 and Table 2. It can be seen clearly from Table 1 and Table 2

kaldığı Tablo 1 ve Tablo 2'den açıkça görülebilir. İncelenen numuneler için bu oran hem basınç hem de sıcaklıkla sabit kalır.

$T^2$  ve  $T^{3/2}$  bağımlılıklarını kıyaslamak için,  $T^2$  bağımlılığı için Eş. 1 ve  $T^{3/2}$  bağımlılığı için Seeger (8) tarafından verilen ( $\mu \propto T^{3/2}/L_D$ ) genel ifadesi kullanılarak dislokasyon mobiliteleri hesaplandı. Debye uzunluğunun ( $L_D \propto T^{1/2}$ ) sıcaklık bağımlı olduğuna da dikkat edilmelidir. Şekil 1 (a) ve (b) den dislokasyon mobilitesinin artan sıcaklıkla her iki durum için de arttığı görülmektedir. Bununla birlikte beklendiği gibi  $T^2$  bağımlılığı  $T^{3/2}$  bağımlılığından daha fazla artar ve deneysel daha yakındır.

that the ratio remains insensitive to the change in  $y_c$  when temperature and pressure changes. In addition to this we have found that for the considered samples the ratio remains constant for both the pressures and temperatures. For the comparison of  $T^2$  and  $T^{3/2}$  dependence we have calculated the dislocation mobility from Eq.1 for  $T^2$  dependence and using the usual expression ( $\mu \propto T^{3/2}/L_D$ ) given by Seeger (8) for the  $T^{3/2}$  dependence. It should also be noted that the Debye length is temperature dependent ( $L_D \propto T^{1/2}$ ). It can be seen from Fig.1 (a) and (b) that the mobility limited by dislocation scattering increases with increasing temperature for both cases. However, the increase of  $T^2$  dependence is faster than  $T^{3/2}$  dependence, and it lies more closer to the experiment as it was expected.

**Table 1.** Cut-off parameter,  $I_1$  and  $I_2$  integrals and  $I_2/I_1^2$  as a function of  $T$  at  $p=0$  for  $x=0.51$ .

**Çizelge 1.**  $x=0.51$  için  $p=0$  da  $T$  değerlerine karşı kesilme parametresi ( $y_c$ ),  $I_1$ ,  $I_2$  integralleri ve  $I_2/I_1^2$  oranı

T(K)	$y_c$	$I_1$	$I_2$	$I_2/I_1^2$
299.7	$5.73 \times 10^{-6}$	$3.40 \times 10^4$	$9.00 \times 10^8$	0.77
251.8	$6.67 \times 10^{-6}$	$5.73 \times 10^5$	$2.54 \times 10^{11}$	0.77
195.0	$8.42 \times 10^{-5}$	$4.54 \times 10^5$	$1.59 \times 10^{11}$	0.77
155.3	$1.04 \times 10^{-5}$	$3.67 \times 10^5$	$1.04 \times 10^{11}$	0.77
93.7	$1.69 \times 10^{-5}$	$2.25 \times 10^5$	$3.92 \times 10^{10}$	0.77
48.5	$3.25 \times 10^{-5}$	$1.18 \times 10^5$	$1.07 \times 10^{10}$	0.77
38.5	$4.10 \times 10^{-5}$	$9.34 \times 10^4$	$6.76 \times 10^9$	0.77
27.0	$5.83 \times 10^{-5}$	$6.56 \times 10^4$	$3.33 \times 10^9$	0.77
17.7	$8.89 \times 10^{-5}$	$4.30 (10^4)$	$1.44 (10^9)$	0.77
14.0	$1.12 (10^{-4})$	$3.40 (10^4)$	$9.00 (10^8)$	0.77

**Table 2.** Cut-off parameter ( $y_c$ ),  $I_1$  and  $I_2$  integrals and  $I_2/I_1^2$  as a function of  $T$  at  $p=4$  for  $x=0.60$ .

**Çizelge 2.**  $x=0.60$  için  $p=4$  da  $T$  değerlerine karşı kesilme parametresi ( $y_c$ ),  $I_1$ ,  $I_2$  integralleri ve  $I_2/I_1^2$  oranı

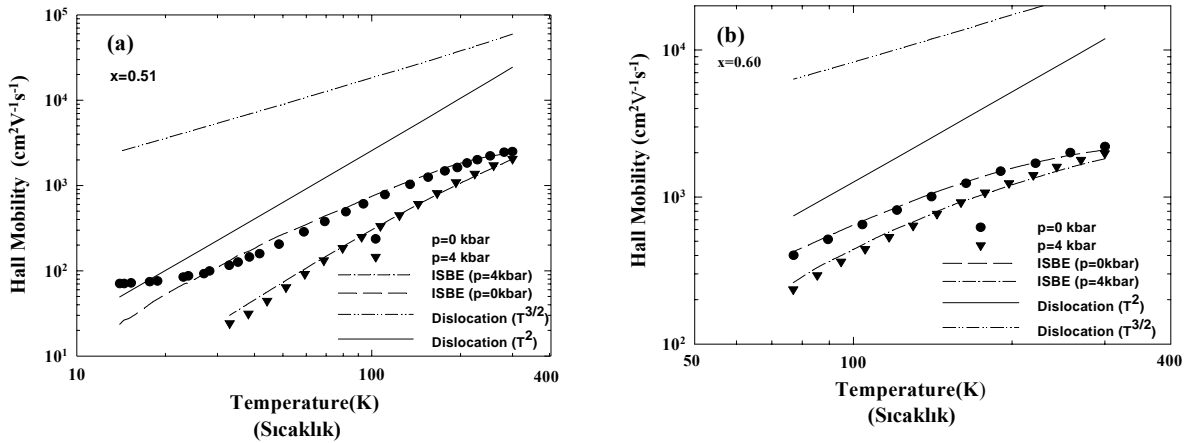
T(K)	$y_c$	$I_1$	$I_2$	$I_2/I_1^2$
300.0	$3.34 \times 10^{-6}$	$1.15 \times 10^6$	$1.01 \times 10^{12}$	0.77
259.0	$3.83 \times 10^{-6}$	$1.00 \times 10^6$	$7.72 \times 10^{11}$	0.77
193.0	$5.05 \times 10^{-6}$	$7.57 \times 10^5$	$4.42 \times 10^{11}$	0.77
144.0	$6.71 \times 10^{-6}$	$5.71 \times 10^5$	$2.51 \times 10^{11}$	0.77
124.0	$7.76 \times 10^{-6}$	$4.93 \times 10^5$	$1.88 \times 10^{11}$	0.77
107.0	$8.97 \times 10^{-6}$	$4.27 \times 10^5$	$1.41 \times 10^{11}$	0.77
79.7	$1.20 \times 10^{-5}$	$3.19 \times 10^5$	$7.86 \times 10^{10}$	0.77
59.3	$1.61 \times 10^{-5}$	$2.38 \times 10^5$	$4.37 \times 10^{10}$	0.77
44.2	$2.16 \times 10^{-5}$	$1.75 \times 10^5$	$2.44 \times 10^{10}$	0.77
33.0	$2.89 \times 10^{-5}$	$1.33 \times 10^5$	$1.36 \times 10^{10}$	0.77

Toplam teorik mobilite polar optik, akustik deformasyon potansiyel, piezoelektrik, iyonize safsızlık saçılmaları (Brooks Herring teorisi), nötral safsızlık saçılmaları (8) ve Eş. 1 ile verilen dislokasyon saçılma mekanizmasını içeren Boltzmann denkleminin iteratif çözümü (ISBE) kullanılarak hesaplandı. Hesaplamalarda kullanılan materyal parametreleri Ref (2, 6)' da verilen ikili bileşikler arasındaki standart lineer interpolasyon metodu kullanılarak belirlendi. Hesaplamalarda sıcaklık ve basınçla değişen deneysel taşıyıcı yoğunluğu kullanıldı. Hesaplamalarda alıcı dağılımının basınçla değiştiği ancak dislokasyon yoğunluğu ve doldurulma ihtimaliyetinin basınçla değişmediği kabul edildi. Diğer parametreler;  $x=0.51$  için atmosfer ve 4 kbar basınçlarda sırasıyla  $a=1.5 \times 10^{-8}$  cm ve  $a=1.2 \times 10^{-8}$  cm ve  $x=60$  için  $a=1 \times 10^{-8}$  cm ve  $a=0.9 \times 10^{-8}$  cm ve diğer sabitler  $N_D=10^{17} \text{cm}^{-2}$  ve  $f=0.54$  olarak alındı.  $In_{0.51}Ga_{0.49}As$  ve  $In_{0.60}Ga_{0.40}As$

The total theoretical mobility has been calculated using an iterative solution of Boltzmann equation (ISBE) including polar optical, acoustic deformation potential, piezoelectric, ionized impurity scattering (with Brooks Herring theory), neutral impurity scattering (8) and dislocation scattering mechanisms given by Eq.1 (7). The material parameters used in the calculations were estimated using the standard linear interpolation between the binary compounds which were given in Ref. (2, 6). During the calculations we have used the experimental carrier concentration that varies with temperature and pressure. We also have assumed that acceptor separation changes with pressure but dislocation density and occupation probability do not change with pressure. The other parameters have been taken as  $a=1.5 \times 10^{-8}$  cm and  $a=1.2 \times 10^{-8}$  cm for  $x=0.51$ , and  $a=1 \times 10^{-8}$  cm and  $a=0.9 \times 10^{-8}$  cm for  $x=60$  at atmospheric and 4 kbar pressures,

materyalleri için atmosfer ve 4 kbar basınç altında sıcaklık bağımlı ölçülen (6) ve hesaplanan Hall mobilitesi Şek. 1 (a) ve (b) de verildi. Şekil 1 de semboller Ref. (6) dan alınan ilgili basınçlardaki deneysel mobilitiyi temsil eder. Düz çizgi ve nokta-nokta-çizgi ise atmosfer basıncında, sırasıyla Eş 1 ve geleneksel ifaden hesaplanan bireysel dislokasyon saçılma mobilitelerini temsil eder. Kesikli ve kesikli-noktalı çizgi ise atmosfer ve 4 kbar basınçta, Eş 1'de verilen dislokasyon saçılma mekanizmalarını içeren ISBE kullanılarak hesaplanan Hall mobilitesini temsil eder. Her iki numune içinde 30 K üzerinde sonuçlar ile deneysel mobiliteler arasında iyi bir uyum vardır. Bu sıcaklığın altında ise teori ve deney arasında açık bir uyumsuzluk vardır. Düşük sıcaklıktaki bu davranış taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklık bağımlılığı ile ilgilidir ve düşük sıcaklıklarda safsızlık bant iletimi oluştuğunu gösterir (6).

respectively, together with the constant  $N_D=10^7\text{cm}^{-2}$  and  $f=0.54$ . For the  $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$  and  $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$  materials the temperature dependence of measured (6) and calculated Hall mobility at atmospheric and 4 kbar pressures are given in Fig.1 (a) and (b). The symbols, which were taken from Ref (6), represent experimental mobility at the related pressures. The solid and dot-dot-dashed lines show the individual mobility limited by dislocation scattering mechanism calculated from Eq.1 and the usual expression, respectively, at the atmospheric pressure. The dashed and dash-dotted curves represent the Hall mobility obtained from the ISBE including the dislocation scattering mechanism (given by Eq.1) at atmospheric and 4 kbar pressures, respectively. Our results are in a good agreement with the experimental mobility for both of the samples at the temperatures above 30 K. Below this temperature there is a clear disagreement between the theory and the experiment. This low temperature behaviour is connected with the temperature dependence of the carrier concentration, and indicates that the impurity band conduction is occurring at low temperatures (6).



**Figure 1.** (a). Temperature dependence of Hall mobility for  $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$  and (b)  $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$  at atmospheric ( $p=0$ ) and  $p=4$  kbar pressures as indicated in the figure for each sample. The symbols represent the experimental Hall mobility at the related pressures (6). The solid and dot-dot dashed lines show the dislocation mobility calculated from Eq.1 and the usual expression at  $p=0$  for  $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ . The dashed and dash-dotted curves show the total Hall mobility obtained from the ISBE at the related pressures as indicated in the figure for each sample.

**Şekil 1.** Atmosfer ( $p=0$ ) ve  $p=4$  kbar basınçta (a)  $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$  ve (b)  $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$  için sıcaklık bağımlı Hall mobilitesi. Semboller ilgili basınçlarda deneysel (6) Hall mobilitesini temsil eder. Düz çizgi ve nokta-nokta-çizgi ise atmosfer basıncında, sırasıyla Eş. 1 ve geleneksel ifaden hesaplanmış dislokasyon mobilitelerini temsil eder. Kesikli ve kesikli-noktalı çizgi ise atmosfer ve 4 kbar basınçta, Eş 1'de verilen dislokasyon saçılma mekanizmalarını içeren ISBE kullanılarak hesaplanan Hall mobilitesini temsil eder.

### 3. SONUÇ

Dislokasyon saçılmasının yaygın ifadesi ( $\mu \propto T^{3/2}$ ) mobilitenin sıcaklık bağımlılığını açıklayamaz. Mobilitenin sıcaklık bağımlılığı Kubo yaklaşımından elde edilen ve sıcaklık bağımlılığı  $T^{3/2}$  den daha büyük olan dislokasyon saçılma mekanizmasının ( $\mu \propto T^2$ ) hesaba katılmasıyla açıklanabilir. Plastiksel gevşek tabakalı  $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}/\text{GaAs}$  ve  $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}/\text{GaAs}$  materyallerde dislokasyon ve iyonize safsızlık saçılmaları baskın mekanizmalardır. Bir önceki çalışmadan da beklendiği gibi düşen sıcaklıkla mobilitedeki düşüştür

### 3. CONCLUSION

The usual expression of dislocation scattering ( $\mu \propto T^{3/2}$ ) can not explain the temperature dependence of the mobility. The temperature dependence of the mobility could be well explained by taking into account the dislocation scattering mechanisms ( $\mu \propto T^2$ ), which has a temperature dependence higher than  $T^{3/2}$ , obtained from Kubo formalism. In the relaxed  $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}/\text{GaAs}$  and  $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}/\text{GaAs}$  materials the dislocation and ionized impurity scattering are the predominant mechanisms. Therefore, as it was expected in the previous work (6), the

dislokasyon merkezleri sorumludur. Sonuçlar, Ref.(6) da  $x=0.30-0.60$  aralığındaki mobilite ve taşıyıcı yoğunluğundaki düşüşün, gevşek tabakalı  $In_xGa_{1-x}As/GaAs$  sisteminde tabaka gevşemesinden ortaya çıkan dislokasyonlar nedeniyle meydana geldiğini göstermektedir.

dislocation centers are responsible for the decrease in the mobility with decreasing temperature. These results show that the decrease in the mobility and the carrier concentration in a limited alloy composition range  $x=0.3-0.60$  in Ref (6) are due to the dislocation centers arising from layer relaxation in plastically relaxed  $In_xGa_{1-x}As/GaAs$  system.

#### REFERENCES/ KAYNAKLAR

1. Nag, B. R., "Ga<sub>0.47</sub>In<sub>0.53</sub>As The Material For High Speed Devices", *Pramana*, 23: 411-421 (1984).
2. Adachi, S., in: *Physical Properties of III-V semiconductor*, **John Wiley & Sons**, New York /Chichester/Brisbane/ Singapore, 263-281 (1992).
3. Kimukin, İ., Bıyıklı, N., Bütün, B., Aytur O., Ünlü S.M., Özbay E., "InGaAs- Based High Performance p-i-n Photodiodes", *IEEE Photonics Technology Letters*, 14(3): 366-368 (2002).
4. Mano, T., Watanabe, K., Tsukamoto, S., Fujioka, H., Oshima, M., Koguchi, N., "New Self Organized Growth Method For InGaAs Quantum Dots On GaAs (001) Using Droplet Epitaxy", *Jpn. J. Appl. Phys*, 38: 1009-1011 (1999).
5. Katckı, J., Ratajczak, J., Adamczewska, J., Phillipp, F., Jin-Phillipp, N. Y., Reginski K. and Bugajski M., "Formation of Dislocations InGaAs/GaAs Heterostructures", *Phys. Stat.Sol. (a)* 171: 275-282 (1999).
6. Kasap, M. and Lancefield, D., "The Temperature and Pressure Dependence Of Electron Transport in Plastically Relaxed  $In_xGa_{1-x}As$ ", *Phys.Stat. Sol.(b)* 199: 481-493 (1997).
7. Aklan, B., Serin, T. and Unal, B., "Dislocation Scattering of Electrons in Plastically deformed germanium", *Semicond. Sci. Technol.*, 11: 1046 (1996).
8. Seeger, K., in: *Semiconductor Physics*, **Springer-Verlag**, Berlin/Heidelberg/NewYork/ London/ Paris/ Tokyo/ HongKong/ Barcelona/ Budapest: 156-215 (1991).

Received/ Geliş Tarihi: 28.11.2002

Accepted/ Kabul Tarihi: 18.07.2003