

Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs Kuantum Kuyusunda 2p Uyarılmış Durum için Bağlanma Enerjisi ve Normalize Edilmiş Bağlanma Enerjine Sıcaklık ve Elektrik Alan Etkisi

Serpil SUCU¹, Sema MİNEZ^{2*}

^{1,2} Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Edirne

¹<https://orcid.org/0000-0001-7655-7428>

²<https://orcid.org/0000-0003-0840-8767>

*Sorumlu yazar: semaminez@trakya.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.06.2025

Kabul tarihi: 27.09.2025

Online Yayınlanma: 16.03.2026

Anahtar Kelimeler:

Bağlanma enerjisi
Normalize edilmiş bağlanma enerjisi
Uyarılmış durum
Sıcaklık
Elektrik alan

Bu çalışmada, Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs sonlu kuantum kuyusunda 2p uyarılmış durum için sıcaklık ve dış elektrik alan etkisi altında varyasyon yöntemi kullanılarak etkin kütle yaklaşımında yabancı atom enerjisi, bağlanma enerjisi ve normalize edilmiş bağlanma enerjisi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, kuantum kuyusu genişliği, sıcaklık, dış elektrik alan ve yabancı atom konumuna bağlı olarak çeşitli değerler için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sıcaklık ve elektrik alanın bağlanma enerjisi ve normalize edilmiş bağlanma enerjisini önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Yabancı atom enerjisinin sıcaklık ve elektrik alanının artması ile arttığı, bağlanma enerjisinin ise azaldığı gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kuantum kuyusu yapılarında dış etkilerin enerji durumlarındaki değişimi daha önce yapılan çalışmalarla tutarlıdır.

Effect of Temperature and Electric Field on Binding Energy and Normalized Binding Energy for 2p Excited State in Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs Quantum Well

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 23.06.2025

Accepted: 27.09.2025

Published online: 16.03.2026

Keywords:

Binding energy
Normalized binding energy
Excited state
Temperature
Electric field

In this study, the impurity atom energy, binding energy, and normalized binding energy were calculated within the effective mass approximation using the variation method, considering the effects of temperature and external electric field on the 2p excited state in a Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs finite quantum well. These calculations were performed for various parameters, including quantum well width, temperature, external electric field strength, and impurity atom position. The results demonstrate that both temperature and electric field significantly influence the binding energy and normalized binding energy. Specifically, the impurity atom energy was observed to increase with increasing temperature and electric field, while the binding energy decreased under these conditions. The obtained results are consistent with previous studies on the change of energy states due to external effects in quantum well structures.

To Cite: Sucu S., Minez S. Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs Kuantum Kuyusunda 2p Uyarılmış Durum için Bağlanma Enerjisi ve Normalize Edilmiş Bağlanma Enerjine Sıcaklık ve Elektrik Alan Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2026; 9(2): 685-695.

1. Giriş

Günümüz teknolojisinde düşük boyutlu yarı iletken sistemlerde yabancı atom durumları üzerine yapılan araştırmalar, hem teorik hem de deneysel çalışmalar açısından büyük önem taşımaktadır. Kuantum noktaları, kuantum telleri ve kuantum kuyuları gibi düşük boyutlu yapılarda yabancı atomların oluşturduğu enerji seviyeleri, elektronik ve iletişim teknolojilerinde yeni imkanlar

sunmaktadır. Bu yabancı atomlar, taşıyıcıların hareketini ve enerji seviyelerini etkileyerek, gelişmiş devre tasarımlarına ve yüksek verimli iletişim araçlarına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla, bu alanlarda yapılan araştırmalar, yarı iletken teknolojisinin sınırlarını zorlayarak, daha hızlı, daha verimli ve daha küçük elektronik bileşenlerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. (Bastard, 1981; Jayam ve Navaneethakrishnan, 1996; Duque ve ark., 1997; Bulut ve ark., 2014; Restrepo ve ark., 2021).

Yabancı atom varlığında düşük boyutlu yapıların fiziksel özelliklerini anlamak önemlidir. Bu nedenle düşük boyutlu yapılarda elektrik alan, manyetik alan, hidrostatik basınç ve sıcaklık etkilerini inceleyen literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Duque ve arkadaşları düşük boyutlu yapılarda elektrik alan etkisini çalışmışlardır (Duque ve ark., 1997). John Peter parabolik kuantum noktasında bağlanma enerjisine basınç ve manyetik alan etkilerini çalışmıştır (John Peter, 2008). Küresel kuantum noktasında bağlanma enerjisi ve normalize edilmiş bağlanma enerjisi için manyetik alan etkisi Akbaş ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır (Akbas ve ark., 2009). Elabsy, yabancı atomun bağlanma enerjisi üzerine sıcaklığın etkisini küresel kuantum noktası için incelemiştir (Elabsy, 1992). Klar ve arkadaşları, kuantum kuyusunda sıcaklık ve hidrostatik basıncın etkilerini çalışmıştır (Klar ve ark., 2001). Bununla birlikte kuantum kuyusu, kuantum teli ve kuantum noktası gibi düşük boyutlu yapılarda varyasyonel yöntem kullanılarak yabancı atom varlığında taban durum enerjisi, uyarılmış durum bağlanma enerjisi, normalize edilmiş bağlanma enerjisi ve self polarizasyon etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. (Ulas ve ark., 2005; Dane ve ark., 2008; Dane ve ark., 2011; Kirak ve ark., 2013; Akbas ve ark., 2016; Sucu ve ark., 2021; Mese ve ark., 2023).

Bu çalışmada etkin kütle yaklaşımında varyasyonel yöntem kullanarak sıcaklık ve elektrik alan etkisi altındaki $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ kuantum kuyusunda 2p uyarılmış durum için bağlanma enerjisi, yabancı atom enerjisini inceledik. Farklı sıcaklık değerleri için 2p uyarılmış durumda yabancı atom enerjisinin pozitif değerlerden negatif değerlere geçtiği kuyu genişliği değeri olan dönüm noktalarını (DN) hesapladık. Ayrıca bağlanma enerjisini yabancı atom enerjisine oranlayarak normalize edilmiş bağlanma enerjisini 2p uyarılmış durum için hesapladık. Normalize edilmiş bağlanma enerjisinin, elektrik alan, sıcaklık ve yabancı atom konumundan önemli ölçüde etkilendiğini gösterdik. Normalize edilmiş bağlanma enerjisinin kullanılması, kuantum kuyularının özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Bu durum elektronik aygıtlarda ve optoelektronik uygulamalarda yeni olanaklar sunmaktadır ayrıca yüksek verimli lazerlerde ve nanoelektronik sistemlerde kullanılabilir. Bu çalışmanın kuantum kuyuları üzerindeki deneysel araştırmaları ilerletmek için değerli olacağına inanıyoruz.

2. Materyal ve Metod

Etkin kütle yaklaşımında $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ kuantum kuyusunda sıcaklık ve dışarıdan uygulanan elektrik alan etkisi altında yabancı atomun $\vec{r}_i = (0,0,z_i)$ de bulunduğu durum için silindirik koordinatlarda Hamiltonyen (Vanitha ve John Peter, 2009),

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*(P,T)} \left[\frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] - \frac{e^2}{\varepsilon(P,T) \sqrt{\rho^2 + (z - z_i)^2}} + eFz + V(z) \quad (1)$$

şeklindedir. Burada e elektron yükü, $\sqrt{\rho^2 + (z - z_i)^2}$ elektron ile yabancı atom arasındaki mesafe, $\varepsilon(P,T)$ kuantum kuyusunun içindeki ortamın dielektrik sabiti ve $m^*(P,T)$ etkin kütledir, $\varepsilon(P,T)$ ve $m^*(P,T)$ hidrostatik basıncın ve sıcaklığın fonksiyonu olarak sırasıyla,

$$\varepsilon(P,T) = \begin{cases} 12,74 \exp(-1,73 \times 10^{-3} P) \exp[9,4 \times 10^{-5} (T - 75,6)] & T \leq 200K \\ 13,18 \exp(-1,73 \times 10^{-3} P) \exp[20,4 \times 10^{-5} (T - 300)] & T \geq 200K \end{cases} \quad (2)$$

ve

$$m^*(P,T) = \left[1 + 7,51 \left(\frac{2}{E_g^\Gamma(P,T)} + \frac{1}{E_g^\Gamma(P,T) + 0,341} \right) \right]^{-1} m_0, \quad (3)$$

olarak tanımlanır (John Peter, 2008; Yesilgul ve ark., 2010; Kirak ve ark., 2013). Denklem (3) teki m_0 serbest elektron kütlesi, $E_g^\Gamma(P,T)$, GaAs için yasak enerji aralığıdır, hidrostatik basınç ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak;

$$E_g^\Gamma(P,T) = 1,519 \text{ eV} + (-5,405 \times 10^{-4} \text{ eV/K}) \frac{T^2}{T + 204K} + bP + cP^2, \quad (4)$$

şeklindedir. Burada $b = 1,26 \times 10^{-2} \text{ eV/kbar}$, $c = -3,77 \times 10^{-5} \text{ eV/kbar}^2$ dir (John Peter ve Navaneethakrishnan, 2008).

Burada P hidrostatik basıncı göstermektedir. Bu çalışmada P=0 kbar olarak nümerik sonuçlar elde edildi. Ga_{1-x}Al_xAs/ GaAs Kuantum kuyusunda sıcaklığın ve elektrik alanın etkisi incelendi. Ga_{1-x}Al_xAs/ GaAs kuantum kuyusu için sınırlandırıcı potansiyel;

$$V(z) = \begin{cases} V_0(z) & , \quad z < -\frac{L}{2} \\ 0 & , \quad -\frac{L}{2} \leq z \leq \frac{L}{2} \\ V_0(z) & , \quad z > \frac{L}{2} \end{cases} \quad (5)$$

şeklindedir. Burada L Kuantum kuyusunun kuyu genişliği ve $V_0(z) = 600(1,155x + 0,37x^2) \text{ meV}$ ile ifade edilen alüminyum konsantrasyonuna bağlı sınırlandırıcı kuyu potansiyelinin bariyer yüksekliğidir. Bu çalışmada alüminyum konsantrasyonu x=0,3 olarak alınmıştır (Rejo Jeice ve Joseph Wilson, 2016).

Yabancı atom ve elektrik alan varlığında 2p uyarılmış durum deneme dalga fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Sucu ve ark., 2021);

$$\psi_i(\rho, z) = \begin{cases} N \sin\left(\frac{kL}{2}\right) e^{\frac{\alpha L}{2}} e^{\alpha z} e^{-\beta z} e^{-\lambda \sqrt{\rho^2 + (z-z_i)^2}} & , \quad z < -\frac{L}{2} \\ N \sin(kz) e^{-\beta z} e^{-\lambda \sqrt{\rho^2 + (z-z_i)^2}} & , \quad -\frac{L}{2} \leq z \leq \frac{L}{2} \\ N \sin\left(\frac{kL}{2}\right) e^{\frac{\alpha L}{2}} e^{-\alpha z} e^{-\beta z} e^{-\lambda \sqrt{\rho^2 + (z-z_i)^2}} & , \quad z > \frac{L}{2} \end{cases} \quad (6)$$

denklemden N normalizasyon sabiti, β elektrik alan için, λ yabancı atom için varyasyon parametreleridir. α ve k ;

$$k = \sqrt{2m^* E_0 / \hbar^2} , \quad (7)$$

$$\alpha = \sqrt{2m^* [V_0 - E_0] / \hbar^2} . \quad (8)$$

olarak tanımlanır. Burada E_0 yabancı atom yokluğunda 2p birinci uyarılmış durum enerjisidir ve transandantal denklemin çözümünden elde edilir. Transandantal denklem:

$$\alpha = k \cot\left(\frac{kL}{2}\right) \quad (9)$$

şeklinde. Birinci uyarılmış durum yabancı atom Enerjisi E_i , varyasyonel yöntem kullanılarak λ ve β parametrelerinin minimizasyonu ile

$$E_i = \min_{\lambda, \beta} \frac{\langle \psi_i(\rho, z) | \hat{H} | \psi_i(\rho, z) \rangle}{\langle \psi_i(\rho, z) | \psi_i(\rho, z) \rangle} \quad (10)$$

şeklinde elde edilir. 2p durumu için E_b Bağlanma Enerjisi elektrik alan şiddeti ve sıcaklık etkisi altında;

$$E_b = E_0 - E_i \quad (11)$$

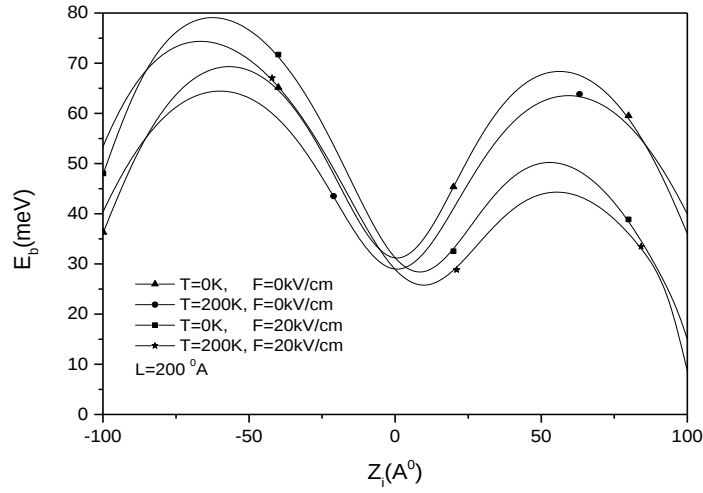
olarak tanımlanır ve normalize edilmiş bağlanma enerjisi,

$$NE_b = \frac{E_b}{E_i} = \frac{E_0}{E_i} - 1 \quad (12)$$

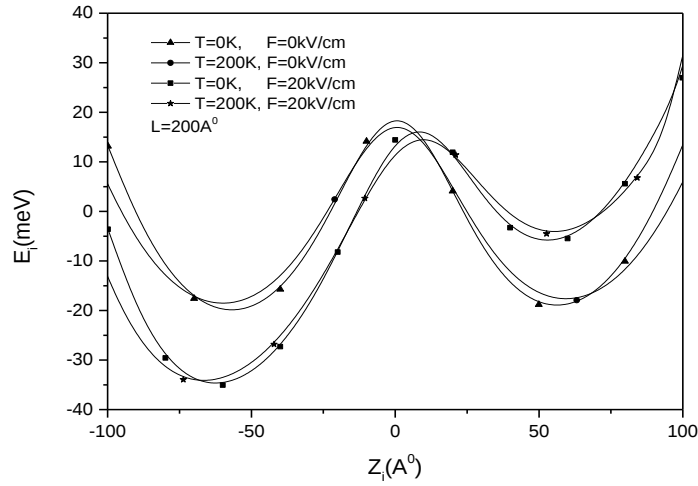
olarak tanımlanır (Dane ve ark., 2008).

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada 2p uyarılmış durumda, elektrik alan ve sıcaklığın $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}/\text{GaAs}$ sonlu kuantum kuyusunda bağlanma enerjisi, yabancı atom enerjisi ve normalize edilmiş bağlanma enerjisi üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Nümerik hesaplamalarda $\varepsilon_0 = 13,13$, $m^* = 0,067 m_0$ ve $x=0,3$ değerleri kullanılmıştır, sıcaklık Kelvin birimindedir. Nümerik sonuçlar şekil 1,2,3,4,5 ile gösterilmiştir.



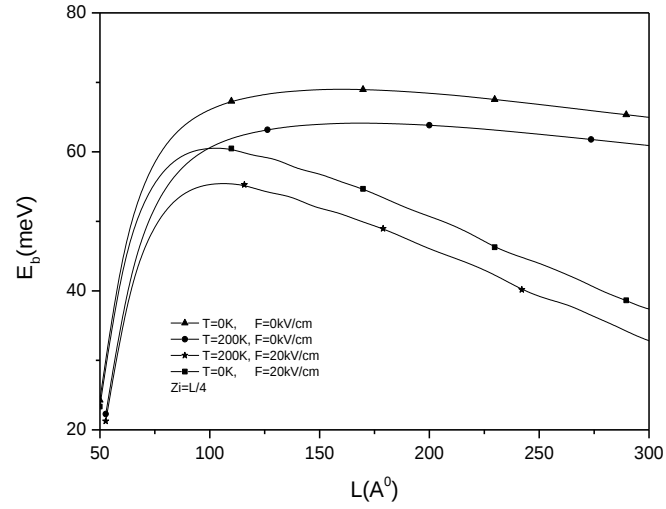
Şekil 1 (a). Bağlanma enerjisinin yabancı atom konumuna göre değişimi



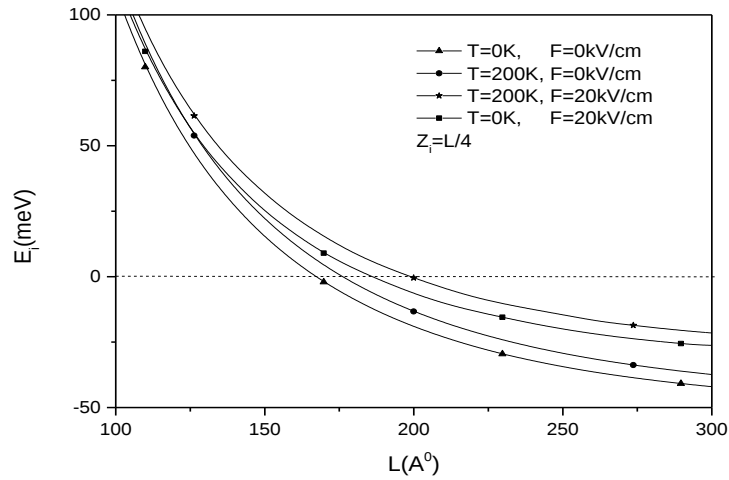
Şekil 1 (b). Yabancı atom enerjisinin yabancı atom konumuna göre değişimi

Şekil 1 (a) da kuyu genişliği $L=200 \text{ Å}$ için bağlanma enerjisinin Z_i ’ye göre değişimi farklı sıcaklık ve elektrik alan değerleri için hesaplanmıştır. Hesaplamalar, sıcaklık $T=0\text{K}$, $T=200\text{K}$ ve dış elektrik alan $F=0 \text{ kV/cm}$, $F=20 \text{ kV/cm}$ değerleri için yapılmıştır. Şekil 1 (a) da yabancı atom kuyu kenarından kuyunun merkezine doğru hareket ettiğinde bağlanma enerjisi önce artmakta ve bir maksimuma ulaşmaktadır. Daha sonra kuyu merkezine doğru azalmaktadır. Bağlanma enerjisinin değişimi $F=0$ durumları için simetriktr. Elektrik alan, dalga fonksiyonunda kaymalara neden olduğundan $F=20\text{kV/cm}$ değerleri için şeklin simetrisi bozulmaktadır ve bağlanma enerjisinin sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Şekil 1 (b) de yabancı atom konumu $Z_i=L/4$ civarında olduğunda yabancı atom enerjisinin pozitiften negatife geçtiği dönüm noktaları (DN) görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada yabancı atom konumu $Z_i=L/4$ olarak kullanılmıştır. Şekil 1 (b) de yabancı atom kuyu kenarından

kuyunun merkezine doğru hareket ettiğinde yabancı atom enerjisi önce azalmakta ve bir minimuma ulaşmaktadır. Daha sonra kuyu merkezine doğru artmaktadır. Elektrik alanın simetriye olan etkisi şekil 1 (a) da olduğu gibi burada da görülmektedir. Bu sonuçlar önceki çalışmamız ile uyumludur (Akbas ve ark., 2016).



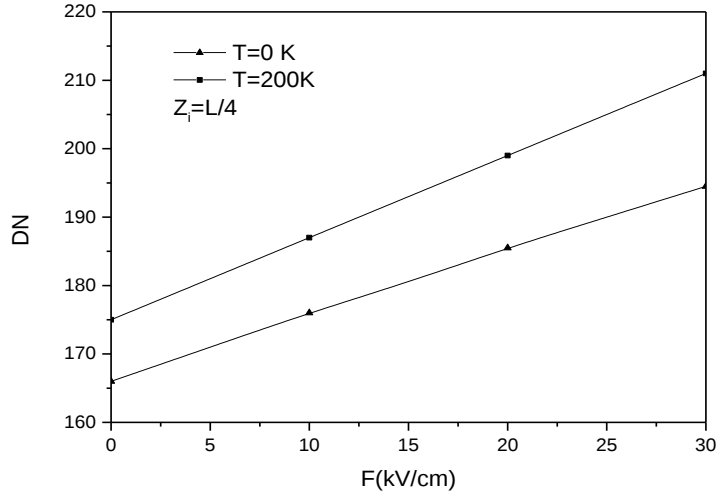
Şekil 2 (a). Bağlanma enerjisinin kuyu genişliğine göre değişimi



Şekil 2 (b). Yabancı atom enerjisinin kuyu genişliğine göre değişimi

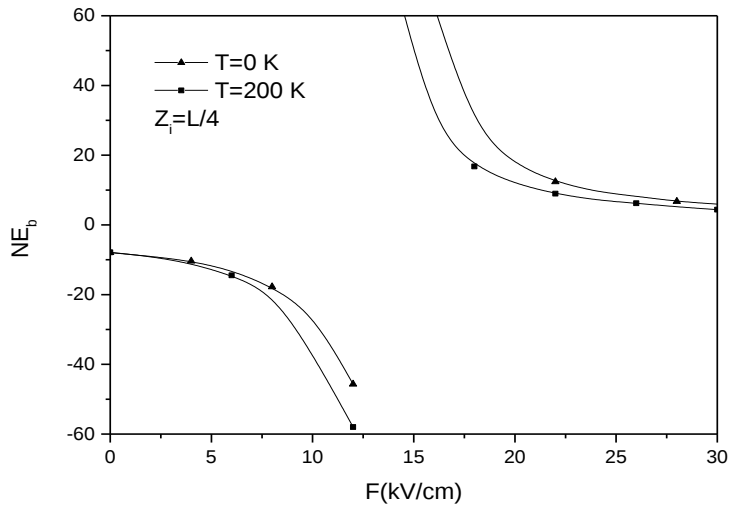
Şekil 2 (a) ve (b) de sırasıyla 2p uyarılmış durumda, bağlanma enerjisi ve yabancı atom enerjisinin kuyu genişliğinin fonksiyonu olarak farklı elektrik alan ve sıcaklık değerlerine göre değişimi gösterilmiştir. Burada yabancı atom $Z_i=L/4$ konumunda alınmıştır. Şekil 2 (a) da bağlanma enerjisi elektrik alanın ve sıcaklığın artmasıyla azalır. Elektrik alanın artması elektronun daha az sınırlanmasına neden olduğu için bağlanma enerjisi önemli ölçüde azaltmaktadır. Elektrik alanın, kuyu genişliği arttığında bağlanma enerjisi üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu etki

küçük kuyu genişliklerinde çok daha azdır. Şekil 2 (b) de yabancı atom enerjisi, elektrik alanın ve sıcaklığın artmasıyla artar. Kuyu genişliğinin artması serbest elektronun kısıtlanmasını azaltır böylelikle yabancı atom enerjisi kuyu genişliği arttığında önemli ölçüde azalır. Ayrıca elektrik alanın ve sıcaklığın artmasıyla yabancı atom enerjisinin pozitiften negatife geçtiği yer olan dönüm noktalarının daha büyük kuyu genişliklerinde olduğu görülmüştür. Bu sonuçların (Dane ve ark., 2008; Erdogan ve ark., 2013; Sucu ve ark., 2017) çalışmaları ile uyumludur.



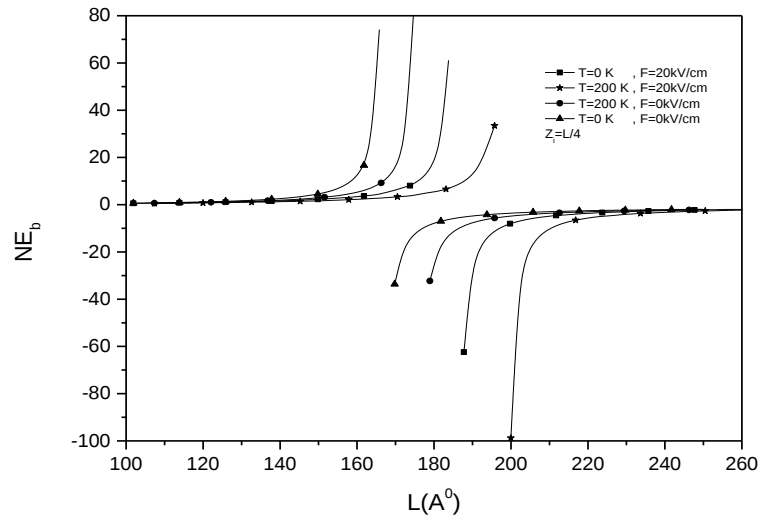
Şekil 3. Farklı sıcaklık değerleri için dönüm noktalarının (DN) elektrik alana göre değişimi

Şekil 3 de $T=0$ K ve $T=200$ K için yabancı atom enerjisinin sıfır değerine sahip olduğu dönüm noktalarının elektrik alana göre değişimi hesaplanmıştır. Burada yabancı atom $Z_i=L/4$ konumunda alınmıştır. Şekil 1 (b) deki değerlerle uyumlu olarak sıcaklık arttığında dönüm noktası değerlerinin arttığı benzer şekilde elektrik alan arttığında da dönüm noktası değerlerinin arttığı görülmüştür. Grafikten de görüldüğü gibi her elektrik alan şiddeti için yabancı atom enerjisinin sıfır değerine sahip olduğu bir kuyu genişliği vardır ve bu kuyu genişliği değerinde bir dönüm noktası oluşmaktadır.



Şekil 4. İki farklı sıcaklık değeri için normalize edilmiş bağlanma enerjisinin elektrik alana göre değişimi

Şekil 4 de kuyu genişliği $L=180 \text{ }^{\circ}\text{A}$ olarak seçilmiştir. Burada normalize edilmiş bağlanma enerjisi sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır. NE_b , dönüm noktalarında sonsuz değer almaktadır. Ayrıca $T=200\text{K}$ sıcaklığında daha küçük elektrik alan değerlerinde dönüm noktalarının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5. Farklı sıcaklık ve elektrik alan değerleri için normalize edilmiş bağlanma enerjisinin kuyu genişliğine göre değişimi

Şekil 5 de NE_b nin kuyu genişliğine göre değişim grafiği sıcaklık $T=0\text{K}$, $T=200\text{K}$ ve dış elektrik alan $F=0 \text{ kV/cm}$ $F=20 \text{ kV/cm}$ değerleri için yapılmıştır. Sıcaklık ve elektrik alanın artması normalize edilmiş bağlanma enerjisini azaltmaktadır ve NE_b dönüm noktalarında sonsuz değer almaktadır. Bu dönüm noktalarının artan sıcaklık ve elektrik alan değerleriyle daha büyük kuyu genişliğinde oluştuğu

görülmektedir. Bu sonuçlar önceki çalışmalar ile uyum içindedir (Sadeghi, 2009; Dane ve ark., 2011; Akbas ve ark., 2016).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada sıcaklık ve elektrik alanın $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ sonlu kuantum kuyusunda 2p uyarılmış durum için bağlanma enerjisi, yabancı atom enerjisi ve normalize edilmiş bağlanma enerjisi üzerine etkileri araştırılmıştır. 2p uyarılmış durumda bağlanma enerjisi, elektrik alan ve sıcaklığın artması ile azalmaktadır, yabancı atom enerjisi ise elektrik alan ve sıcaklığın artmasıyla artmaktadır. Ayrıca yabancı atom enerjisinin pozitiften negatife geçtiği dönüm noktaları elektrik alan ve sıcaklığın artmasıyla artmaktadır. Buna ilaveten sıcaklık ve elektrik alanın artması ile normalize edilmiş bağlanma enerjisini azalmaktadır ve dönüm noktalarında NE_b sonsuz değer almaktadır. 2p uyarılmış durumda $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ sonlu kuantum kuyusunda elektrik alan ve sıcaklığın normalize edilmiş bağlanma enerjisi üzerine etkisi ilk kez bu çalışmada hesaplanmıştır. Sıcaklık ve elektrik alan etkisi altındaki kuantum kuyusunun elektronik ve optiksel özelliklerinin önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlar yeni elektronik cihazların tasarlanmasında kullanılabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Akbas H., Dane C., Guleroglu A., Minez S. The effect of magnetic field in a GaAs/AlAs spherical quantum dot with a hydrogenic impurity. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 2009; 41(4): 605-608.
- Akbas H., Sucu S., Minez S., Dane C., Akankan O., Erdogan I. Ground state normalized binding energy of impurity in asymmetric quantum wells under hydrostatic pressure. *Superlattices and Microstructures* 2016; 94: 131-137.
- Bastard G. Hydrogenic impurity states in a quantum well: A simple model. *Physical Review B* 1981; 24(8): 4714-4722.
- Bulut P., Erdogan I., Akbas H. Binding energy of 2p-bound state of a hydrogenic donor impurity in a GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs spherical quantum dot under hydrostatic pressure. *Physica E* 2014; 63(1): 299-303.
- Dane C., Akbas H., Minez S., Guleroglu A. Electric field effect in a GaAs/AlAs spherical quantum dot. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 2008; 41(2): 278-281.

- Dane C., Akbas H., Guleroglu A., Minez S., Kasapoglu K. The hydrostatic pressure and electric field effects on the normalized binding energy of hydrogenic impurity in a GaAs/AlAs spherical quantum dot. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 2011; 44(1): 186-189.
- Duque CA., Montes A., Morales AL., Porras-Montenegro N. Effects of applied electric field on the binding energy of shallow donor impurities in GaAs low -dimensional systems. *J. Phys. Condens Matter* 1997; 9: 5977-5987.
- Erdogan I., Akankan O., Akbas H. Simultaneous effects of temperature, hydrostatic pressure and electric field on the self-polarization and electric field polarization in a GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As spherical quantum dot with a donor impurity. *Superlattices and Microstructures* 2013; 59(1): 13-20.
- Elabsy AM. Temperature dependence of shallow donor states in GaAs-Al_xGa_{1-x}As compositional. *Süperlattice Physica Scripta* 1992; 46(5): 473-475.
- John Peter A., Navaneethakrishnan K. Effects of position-dependent effective mass and dielectric function of a hydrogenic donor in a quantum dot. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 2008; 40(8): 2747-2751.
- John Peter A. Simultaneous effects of pressure and magnetic field on donors in a parabolic quantum dot. *Solid State Communications* 2008; 147(7-8): 296-300.
- Jayam SRG., Navaneethakrishnan K. Pressure and temperature dependent carrier mobility in a quantum well wire with polaronic effects. *Phys. Stat. Sol. A* 1996; 157(1): 107-114.
- Kirak M., Altinok Y., Yilmaz S. The effects of the hydrostatic pressure and temperature on binding energy and optical properties of a donor impurity in a spherical quantum dot under external electric field. *Journal of Luminescence* 2013; 136: 415-421.
- Klar PJ., Grüning H., Heimbrodt W. Pressure and temperature dependent studies of GaN_xAs_{1-x}/GaAs quantum well structures. *Phys. Status Solidi B* 2001; 223(1): 163-169.
- Mese AI., Cicek E., Ozkapi SG., Ozkapi B., Erdogan I. Laser field effect on the normalized self-polarization, self-polarization and binding energy in square quantum wells made of different materials. *Physica B Condensed Matter* 2023; 669: 415311.
- Restrepo RL., Miranda Guillermo L., Duque CA., Mora-Ramos ME. Simultaneous effects of hydrostatic pressure and applied electric field on the impurity-related self-polarization in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs multiple quantum wells. *Journal of Luminescence* 2021; 131(5): 1016-1021.
- Rejo Jeice A., Joseph Wilson KS. Hydrostatic pressure and polaronic effect on the confined energies in a spherical quantum dot. *Indian Journal of Pure & Applied Physics* 2016; 54: 431-438.
- Sadeghi E. Impurity binding energy of excited states in spherical quantum dot. *Physica E* 2009; 41(7): 1319-1322
- Sucu S., Minez S., Akbas H. Antisimetrik Al_xLGa_{1-x}As/GaAs/Al_xRGa_{1-x}RAs kuantum kuyusunda sıcaklık ve hidrostatik basınç etkileri. *Trakya University Journal of Engineering Sciences* 2017; 18(2): 137-143.

- Sucu S., Minez S., Erdogan I. Self-polarization of a donor impurity for the first excited state in an $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}/\text{GaAs}$ quantum well. *Indian J. Phys* 2021; 95(9): 1691-1695.
- Ulas M., Erdogan I., Cicek E., Senturk Dalgic S. Self-polarization in GaAs-(Ga, Al)As quantum well wires: electric field and geometrical effects. *Pyhsica E* 2005; 25(4): 515-520.
- Vanitha A., John Peter A. The effect of nonparabolicity on binding energy of ground and excited states in a corrugated quantum well. *Superlattices and Microstructures* 2009; 46(4): 679-686.
- Yesilgul U., Sakiroglu S., Kasapoglu E., Sari H., Sokmen I. The effects of temperature and hydrostatic pressure on the photoionization cross-section and binding energy of impurities in quantum-well wires. *Superlattices and Microstructures* 2010; 48(1): 106-113.