УДК: 378. 026
DOI 10.33514/1694-7851-2023-1-77-81

Каденова Б.А.
физ.-мат. илим. канд.
Ош мамлекеттик университети
Абдыкаримова Т.А.
окутуучу
Ош мамлекеттик университети
Сайитова Ж.К.
окутуучу
Ош мамлекеттик университети
Калмурза кызы А.
окутуучу
Ош мамлекеттик университети

ЖАРЫМ ӨТКӨРГҮЧТҮҮ КРИСТАЛЛДАРДА РАДИАЦИЯЛЫК ДЕФЕКТТЕРДИН ПАЙДА БОЛУУ ПРОЦЕССИ ЖАНА АНЫ МОДЕЛДЕШТИРҮҮ

Аннотация: Бул жумушта жарым өткөргүчтүү кристаллдардагы радиациялык дефекттердин топтолууларынын ирээттелген түзүлүштөрүнүн пайда болуу процесси каралып, ал процесстин физикалык жана математикалык моделдештирүүсүнүн жыйынтыктары алынды.

Негизги сөздөр: Концентрациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздук, генерациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздук, деформациялык дефекттер, локалдык баш аламандык, изотроптук, анизотроптук.

Каденова Б.А.
канд. физ.-мат. наук
Ошский государственный университет
Абдыкаримова Т.А.
преподаватель
Ошский государственный университет
Сайитова Ж.К.
Ошский государственный университет
Калмурза кызы А.
преподаватель
Ошский государственный университет

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛАХ И ЕГО МОДЕЛИРОВАНИЕ

Аннотация: В данной статье рассмотрен процесс формирования последовательных структур радиационных дефектов в полупроводниковых кристаллах и представлены результаты физического и математического моделирования этого процесса.

Ключевые слова: Концентрационно-деформационно-термическая неустойчивость, генерационно-деформационно-термическая неустойчивость, деформационные дефекты, локальная неупорядоченность, изотропная, анизотропная.

Kadenova B.A.
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Osh State University
Abdykarimova T.A.
Lecturer
Osh State University
Sayitova Zh.K.
Lecturer
Osh State University
Kalmurza kyzy A.
Lecturer
Osh State University

ZHARYM OTKOKRG-CHT-Y CRYSTALLDARD RADIATIONLYK DEFECTTERDIN PAID BOLUU JEAN ANA MODELDESHTIR-Y PROCESS

Annotation: In this work, the process of formation of successive structures of radiation defects in semiconductor crystals is considered and the results of physical and mathematical modeling of this process are obtained.

Keywords: Concentration-deformation-thermal instability, generation-deformation-thermal instability, deformation defects, local disorder, isotropic, anisotropic

Изилдөөнүн объектиси жана ыкмалары: Изилдөөнүн объектилери катарында катуу заттар физикасынын мазмуну жана NaCl, КCl, NaCl-Ag жана КCl-Ag жегич-галоиддик кристаллдары алынат, ал эми изилдөөнүн ыкмасы катарында концентрациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздуктун (КДЖТ) өнүгүү концепциясы же генерациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздук (ГДЖТ) радиациялык дефекттердин түзүлүшүндөгү болуучу сызыктуу эмес процесстерине негизделген математикалык моделдештирүүсү каралат.

Киришүү

Нурдантылбаган жарым өткөргүчтүү кристаллдарда сызыктуу эмес концентрациялык-деформациялык түзүлүштөрдүн пайда болуусун аныктоодо кооперативдик динамикалык туруктуу өз ара байланыштагы өз ара шартталган талаанын деформациясынын абалын камтыган сызыктуу эмес маселелерди локалдык баш аламандыктын концентрациясын жана чөйрөнүн температурасын кароо керек. Торчого аракет этүү күчү- серпилгичтүү сызыктуу эмес, баш аламан жана температурасы торчонун түйүндөрүндө, дисперсиялык, диссипативдик эффектте, концепсиясы баш аламан болгон теория боюнча аныкталган тендеме болуп эсептелет.

Деформацияланбаган зат сырткы таасирлердин аракетинен б.а. лазердик нурдануунун, жогорку энергетикалык бөлүкчөлөрдүн (электрондор,нейтрондор) таасиринен пайда болгон нейтралдуу (заряддалган) баш аламандыкты алып жүрүүчүлөрдүн-атомдордун туташ чөйрөсү катарында каралат. Локалдык баш аламандык кристаллдык торчонун кеңейүүсүн же кысылышын пайда кылат. Бул бузулуунун натыйжасында баш аламандык талаанын серпилгичтүү деформациясы менен аракеттенет. Мына ошондуктан ар кандай концентрациялык бир тектүү эместик катуу заттарда ички концентрациялык чыңалууну пайда кылат. Серпилгичтүү матриалдагы жана локалдык баш аламандыктын подсистемасындагы ар кандай өзгөрүүлөр концентрациялык талаанын жана ал пайда кылган талаанын концентрациялык деформациясынын (чыңалуусунун) натыйжасы болот. Бул байланыш подсистемадагы болгон кубулуштардын синергетикалык түзүлүшүн көрсөтөт. [1,

2] жумуштардын авторлору лазердик нурдануунун жарым өткөргүчкө тийгизген таасирин эксперименталдык изилдөөлөрдүн жыйынтыктарында концентрациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздуктун өнүгүү концепциясын же б.а. чекиттик дефекттердин калыптанган (упорядоченный) топтолушунун түзүлүшүнө алып келүүчү генерациялык-диффузиялык-деформациялык туруксуздуктардын пайда болуусун иштеп чыккан. Бул концепция биз үчүн жарым өткөргүчтүү кристаллдардагы дефекттердин түзүлүүсүнүн өз алдынча пайда болуу процессинин өнүгүүсүн кароо үчүн негиз болду.

Концентрациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздуктун (КДЖТ) өнүгүү концепциясы же генерациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздук (ГДЖТ) радиациялык дефекттердин түзүлүшүндөгү болуучу сызыктуу эмес процесстерди мүнөздөйт (описывает). Ал азыр классикалык көз караш болуп калган нурдануунун таасиринин натыйжасында дефекттердин калыптанышы жөнүндөгү көз караш менен бирге дефекттердин өз алдынча түзүлүү процессин көрсөтүүчү синергетикалык ыкма (подход) экендигин [3,4] жумуштарда белгилешет. Синергетикалык ыкма боюнча туруксуздук аныктаган параметрлердин белгилүү критикалык [5, 6] мүнөздөөчү маанисине жеткенде пайда болот. Ал эми өз алдынча түзүлгөн түзүлүштүн (самоорганизованный структур) таралуу процесси бир же бир нече жыйындын амплитудасына алып келүүчү көп сандагы туруктуу эмес өсүүчү жыйындын арасындагы көп атаандаштыктын (конкуренциянын) натыйжасы болот. Үстөмдүк кылган топтун амплитудасы калыптануунун (упорядоченность) тибин жана даражасын аныктайт б.а. нерсеге нурдануу аракет эткен учурдагы болгон процесстерди көрсөткөн кеңири математикалык аппарат болот. Биз [7] жумушта катуу заттарда иондоштуруучу нурдануу менен аракет эткен учурда өсүүчү процесстерди жана ал процесстердин математикалык жазылышын караганбыз.

Нурдануучу материалдын бетинин катмарындагы бөлүкчөлөрдүн агымынын чекиттик концентрациясы бул созулган дефектиси n_a-чөйрөдөгү атомдордун жылышы болуп эсептелет жана жыйынтыгында бул аймакта (областа) деформациялык дефекттер пайда болот да, талаанын серпилгичтүү чыңалышын жаратат жана чөйрөнүн жылышуу векторун $\zeta(r,t) = divu(r,t)$, мында $u(r,t)$ ден индуцирленген–деформацияланган дефектин агымын аныктайт.

Жыйынтыгында мейкиндикте талаанын бир тектүү эмес концентрациясынын дефекти $n_\alpha(r,t)$ анын градиенти толкундуу болгон күч пайда болгонуна алып келет. Бул күчтөр белгилүү критикалык шарттар (дефекттин концентрациясы, ылдамдыгы) системасындагы аракеттенүүчү талаалардын деформациясы, температурасы, концентрациясы, дефектиси, флуктуациалык деформациясы туруксуз жылуулук –концентрациясынын деформациясынан Фурье гармоникалык талаадагы температуранын жана концентрациянын козголушуна алып келет. Ошентип, дефекттер системасы менен жылуулук–концентрациясынын–деформациясынын аракети ички туруксуз бир тектүү эмес мейкиндик абалына өтөт [7, 8, 9].

Концентрациялык-дефоромациялык-жылуулук туруксуздуктардын өнүгүүсү

Лазердик нурдануу менен жарым өткөргүчтөрдүн өз ара аракеттенишүүлөрүнүн эксперименталдык изилдөөлөрүнүн жыйынтыгы боюнча [1,2] жумуштардын авторлору тарабынан чекиттик дефекттердин ирээттелген топтолуусунун пайда болуусуна алып келүүчү концентрациялык-дефоромациялык-жылуулуктук туруксуздуктар же генерациялык-диффузиялык-деформациялык туруксуздуктардын өнүгүү концепциясы иштелип чыккан. Бул концепция биздин жумуштардын негизи болгон жегич-галоиддик кристаллдарда радиациялык нурдануу таасир эткенде өздүк уюшулган процесстин өнүгүүсүн кароо үчүн шарт түзгөндүгүн белгилөөгө болот.

Концентрациялык-деформациялык-жылуулуктук туруксуздук концепциясы, ирээттелген түзүлүштөрдүн пайда болуу процессин карагандыктан, ал көп сандаган туруксуз өсүүчү топтордун ортосундагы атаандаштыктын аракетинин натыйжасы экендигине негизделген.

Системаны мүнөздөөчү бул параметрлерди билүү жана башкаруу белгилүү бир топтордун басымдуулук кылуусуна шарт түзүп, тигил же бул түзүлүштөрдүн пайда болуусуна алып келет Концентрациялык-деформациялык-жылуулуктук туруксуздуктардын өнүгүүсүн баяндоонун эки жалпы модели бар: изотроптук катуу нерсе үчүн жана биринчини жалпылаган серпилгичтүү анизотроптук субстраттагы кабыкча үчүн модели [7].

Биринчи учурда концентрациялык-деформациялык-жылуулук туруксуздуктардын өнүгүүсүн кинетикалык жактан толук сүрөттөгөн теңдемелер системасы төмөнкүдөй түргө ээ болот [7–9];

$$\frac{\partial n_\alpha(\mathbf{r},t)}{\partial t}=Q_\alpha-\operatorname{div}\,\mathbf{j}_\alpha(\mathbf{r},t)-\gamma n_i n_{\text{v}}-\beta_\alpha n_\alpha \quad (1)$$

$$\mathbf{j}_\alpha(\mathbf{r},t)=-D_\alpha \operatorname{grad} n_\alpha(\mathbf{r},t)+\upsilon_\alpha n_\alpha(\mathbf{r},t) \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2}=c_T^2\Delta\mathbf{u}+(c_L^2-c_T^2)\operatorname{grad}(\operatorname{div}\mathbf{u})+\sum_{\alpha=\text{i,v,p}}\frac{K}{\rho}\Omega_\alpha \operatorname{grad} n_\alpha-\frac{K\alpha_t}{\rho}\operatorname{grad}T+G_N(\mathbf{u}) \quad (3)$$

$$\rho C\frac{\partial T}{\partial t}=Q_{\text{t}}+\chi\Delta T+\sum_{\alpha=\text{i,v}}\theta_\alpha\beta_\alpha n_\alpha+\theta_{\text{iv}}\gamma\, n_{\text{v}}n_{\text{i}} \quad (4)$$

(1) теңдемеси α тибиндеги дефекттеринин концентрациясынын $n_\alpha(r,t)$ ($\alpha=i$ түйүндөр аралыгына, ал эми $\alpha=v$ вакансияларга тиешелүү) $r=(x,y,z)$ чекитиндеги жана убакыттын t моментиндеги концентрациясынын өзгөрүүсүн жана дефекттер агымын $j_\alpha(r,t)$ сүрөттөйт. Ал эми (2) теңдемесиндеги акыркы эки кошулуучу тиешелүү түрдө дефекттердин өз ара рекомбинациясын жана алардын агымдагы жутулуусун сүрөттөйт. (3) теңдеме болсо жылышуу векторунун убакыттын өтүшү менен өзгөрүүсүн көрсөтөт. Мында C_T, C_L-чөйрөдөгү үндүн ылдамдыгынын туурасынан жана узатасынан кеткен компоненттери, ал эми ρ-чөйрөнүн тыгыздыгы болуп эсептелет. Үчүнчү кошулуучу дефекттер шарттаган концентрациялык чыңалууну, төртүнчү кошулуучу температуранын бир тектүү эмес талаасы менен байланышкан жылуулук серпилгилгичтүү чыңалууну, $G_N(u)$ функциясы серпилгичтүү чөйрөнүн ангармонизмин сүрөттөйт. Ал эми (4) теңдеме чөйрөдөгү температуралык өзгөрүүлөрдү аныктайт. Мында C,–жылуулук сыйымдуулук, ал эми χ- жылуулук өткөрүмдүүлүк, $Q_t=Q_t(T,\ n_\alpha\varepsilon)$-энергиянын сырткы агымы менен чөйрөнүн ысуусун сүрөттөйт. Акыркы эки кошулуучу кристаллдын дефекттеринин $(\theta_i,\theta_v,\theta_{zv})$ - рекомбинациясындагы жана жутулуусундагы жылуулук бөлүнүп чыгуусунун эсебинен ысуусун мүнөздөйт, мында $\theta_i,\theta_v,\theta_{zv}$ –рекомбинациясынын жана жутулуунун бирдик көлөмүндөгү бөлүнүп чыккан энергиялар жана ал $\theta_\alpha\approx E_{f\alpha}$, мында $E_{f\alpha}$- α тибиндеги дефектин пайда болуу энергиясы болуп саналат.

Деформациялык-диффузиялык туруксуздуктун өнүгүүсүнүн математикалык моделинин негизи болуп субстраттагы серпилгичтүү анизотропиялык кабыкчанын физикалык модели эсептелет [1]. Ал физикалык моделде калыңдыгы h болгон дефекттик-байытылган катмар, субстрат менен катуу байланышкан "кабыкча" тыгыздыгы ρ жана Юнг модулу E болгон катары каралат. Мындан субстрат катарында серпилгичтүүлүк параметрлери ρ_s жана E_s болгон кристаллдын калган бөлүгүн түшүнөбүз. Кабыкчанын субстрат менен туташуу тегиздиги $z=0$ болгон [100] бетине параллель. Мында z огу кристаллдын тереңине карай багытталган, ал эми x жана y октору кристаллографиялык [100] багыттарын бойлой багытталган эки ортогоналдык багыт болушат.

Топтук түшүнүктүн суспстраттагы деформациялык-диффузиялык туруксуздуктарды серпилгичтүү анизотропиялык кабыкча учуру үчүн туюк теңдемелер системасы дефекттердин концентрациясы жана деформациясы Фурьенин катары үчүн төмөндөгүдөй болот:

$\zeta(\mathbf{r},t)=\sum_{q}\zeta_{q}\exp(iq\mathbf{r})$, $n_{\alpha}(\mathbf{r},t)=n_{0\alpha}+\sum_{\mathbf{q}\neq 0}n_{\alpha}(\mathbf{q})\exp(i\mathbf{qr})$, мында $\mathbf{q}=\{q_x,q_y\}$; $0\le q\le q_c$; $\zeta_{\mathbf{q}}=\zeta_{-\mathbf{q}}$; $q_c=\pi/h$ – пределдик толкундук сан; $n_{\alpha}(\mathbf{q})=n_{\alpha}(-\mathbf{q})$; $n_{\alpha 0}$ – мейкиндиктик – бир тектүү дефекттердин концентрациясы [2]. Анда төмөнкүдөй көрүнүш алынат:

$$\frac{\partial n_{\alpha}(\mathbf{q})}{\partial t}+\lambda_{\alpha}(\mathbf{q})n_{\alpha}(\mathbf{q})=-C_{\alpha}vhq^{2}\eta_{\alpha}(\mathbf{q})n_{\alpha}(\mathbf{q})+\sum_{\alpha',\mathbf{q}_1}K_{\alpha\alpha'}(\mathbf{q},\mathbf{q}_1)n_{\alpha}(\mathbf{q}_1)n_{\alpha'}(\mathbf{q}-\mathbf{q}_1)+$$
$$+\sum_{\alpha',\alpha'',\mathbf{q}_1,\mathbf{q}_2}K_{\alpha\alpha'\alpha''}(\mathbf{q},\mathbf{q}_1,\mathbf{q}_2)n_{\alpha}(\mathbf{q}_1)n_{\alpha'}(\mathbf{q}_2)n_{\alpha''}(\mathbf{q}-\mathbf{q}_1-\mathbf{q}_2), \qquad (5)$$

мында $K_{\alpha\alpha'}$, $K_{\alpha\alpha'\alpha''}$ – топтор аралык өз ара аракеттенишүү коэффициенттери.

(5) теңдеме кубдук жакындашуудагы дефекттердин концентрацияларынын беттеринин Фурье-амплитудалары үчүн кинетикалык теңдемелердин туюк системасын элестет. Бул деформациялык-генерациялык кошулууларды жана деформациялык-индуцирленген дрейфти эсепке алуу менен субстраттагы серпилгичтүү анизотропиялык кабыкчанын (пленканын) моделиндеги генерациялык-диффузиялык-деформациялык туруксуздуктарды көп топтук өнүгүү динамикасын сүрөттөйт.

Корутунду

Туруксуздуктар өсүүчү параметрлерди сүрөттөөчү аналитикалык эсептөөлөрдү (выражение) алуу үчүн эки учурда тең $(1)\div(5)$ теңдемелер системасынын сызыктуу анализи жүргүзүлөт [7–9]. Мындан туруксуздуктардын инкременти үчүн дефекттердин ирээттелген структураларынын пайда болуу мезгили, туруксуздук өсүүчү дефекттердин критикалык концентрациясы үчүн, беттик ирээттелген түзүлүштөрдүн (структуралардын) пайда болуусунун мүнөздүк убактысы үчүн формулаларды жазып көрсөтүүгө болот. Мында $(1)\div(3)$ жана (5) теңдемелер системасы диффузиялык-деформациялык туруксуздуктардын калыптануу шарттарынан көз карандылыкта жөнөкөйлөтүлгөн учурлар үчүн келтирилет.

Колдонулган адабияттар:

1. Мирзоев, Ф.Х. Деформационная неустойчивость и генерация Поверхностных упорядоченных структур при лазерном воздействии [Текст] / Ф.Х. Мирзоев // Квантовая электроника. – Т. 23. – №9. – 1996. – С. 827–830.

2. Емельянов, В.И. Самоорганизация упорядоченных дефектно-деформационных микро- и наноструктур на поверхности твердых тел под действием лазерного излучения. [Текст] / В.И. Емельянов // Квантовая электроника. – Т. 28. – №1. – 1999. – С. 2–18.

3. Hockney, R.W. Parallel computers [Text]: / R.W. Hockney, C.R. Jesshope. – Hilger, Bristol,1981.

4. Холодниок, М., Методы анализа нелинейных динамических моделей [Текст] / М. Холодниок, А. Клич, М. Марек. – М.: Мир, 1991. – 365 с.

5. Ландау, Л.Д. Теория упругости [Текст] / Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. – М: Наука, 1965. – С. 202–204.

6. Карлов, Н.В. Колебания, волны, структуры [Текст] / Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко.– М: Физ.-мат.лит. 2003. – 496 с.

7. Каденова Б.А. Динамика концентрационно-деформационно-тепловых неустойчивости [Текст] / Б.А. Каденова // ННТ. – 2012. – №4. – С. 6–8.

8. Анищенко, В.С. Знакомство с нелинейной динамикой [Текст] / В.С. Анищенко. – М., Ижевск: изд. Института комьютерных исследований. – 2002. – С. 114.

Рецензент: пед. илим. канд., доц. Сагыналиева Н.К.