

Лекция 9: Радиациялық әсер ету кезінде қатты денелердегі бастапқы процестер

Лекцияның мақсаты: Қатты денелерге иондаушы сәулеленудің әсері кезінде жүретін бастапқы процестердің физикалық негіздерін түсіндіру. Бөлшектер мен сәулеленудің затпен әрекеттесу сатыларын, энергия беру механизмдерін және бастапқы радиациялық ақаулардың түзілуін сипаттау.

Негізгі сұрақтар

1. Радиациялық әсер ету сатылары және олардың сипаттамалары.
2. Бөлшектердің энергия жоғалтуы және затпен өзара әрекеттесу процестері.
3. Серпімді және серпімсіз соқтығысу процестері.
4. Реакция қимасы және өзара әрекеттесу ықтималдығы.
5. Ығысу энергиясы және Френкель жұптарының түзілуі.
6. Соқтығысу каскадтары және ығысқан атомдардың саны.
7. ТРН (Торренс–Робинсон–Норгетт) моделі бойынша есептеу.

Қысқаша мазмұны

1. Радиациялық әсер ету сатылары

Қатты денелерге бөлшектер мен сәулелер түскенде үш негізгі процесс жүреді:

1. Электрондық және ядролық ішкі жүйелердің қозуы,
2. Ядролық реакциялар,
3. Кристалл тор атомдарының бастапқы тепе-теңдік күйден ауытқуы

2. Бөлшектердің энергия жоғалтуы және флюенс

Бөлшектердің ағынының тығыздығы формуламен анықталады:

$\Phi = nv$ мұнда n — бөлшектер концентрациясы, v — олардың жылдамдығы.

Интегралды ағын (флюенс): $\Phi = \int \Phi dt$

Бұл шамалар сәулеленудің әсер ету ұзақтығын және материал арқылы өтетін бөлшектер санын сипаттайды.

3. Серпімді және серпімсіз әрекеттесу

Серпімді соқтығысу кезінде бөлшектердің жалпы энергиясы сақталады.

Бөлшек энергиясының нысана атомына берілуі формуламен сипатталады:

$$T_{12} = \frac{4M_1M_2}{(M_1 + M_2)^2} E_1 \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

мұнда M_1, M_2 — массалар, θ — шашырау бұрышы;

5. Ығысу энергиясы және Френкель жұбы

Соқтығысқан бөлшек нысана атомына энергия T_{12} береді. Егер бұл энергия белгілі бір шектен (ығысу энергиясы T_d) асып кетсе, атом тор түйінінен ығысады.

Нәтижесінде **вакансия-түйінаралық атом жұбы (Френкель жұбы)** түзіледі.

6. Соқтығысу каскадтары

Бастапқы ұшып шыққан атом (БҰА) басқа атомдарға энергия беріп, жаңа ығысу актілерін туғызады. Бұл процестер **каскадтық ығысулар** деп аталады.

Олардың дамуы үш сатыдан тұрады:

1. Алғашқы акт (10^{-16} с),
2. Каскадтың динамикалық өсуі (10^{-13} с),

3. Релаксация (10^{-8} – 10^{-7} с).

8. Радиациялық зақымдану нәтижелері

Радиациялық каскадтардың салдарынан:

- кристалдық тор бұзылады,
- нүктелік ақаулар мен Френкель жұптары түзіледі,
- материалдың физикалық және механикалық қасиеттері өзгереді.

Бақылау сұрақтары

1. Радиациялық әсердің негізгі сатыларын атаңыз.
2. Серпімді және серпімсіз әрекеттесу айырмашылығы неде?
3. Ығысу энергиясы дегеніміз не?
4. Френкель жұбы қалай түзіледі?
5. Соқтығысу каскадының сатылары қандай?
6. ТРН моделінің мағынасы мен қолданылу саласын түсіндіріңіз.

Ұсынылатын әдебиеттер

Мукашев К.М, Мархабаева А.А. Яр Мухамедова Г.Ш. Радиационное материаловедение.

Алматы. Қазақ университеті. 2016 ж;

Асабина Е.А. Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства функциональных материалов. Новгород, 2012;

Углов В.В. Радиационные эффекты в твердых телах. 2011;

2.Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. - М.: Энергоатомиздат, 2003. -272 с;

3.Ахизер И.А., Давыдов Л.Н. Введение в теоретическую радиационную физику металлов и сплавов. - Киев: Наукова Думка, 2001. - 142 ;



Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Факультет: физика-техникалық

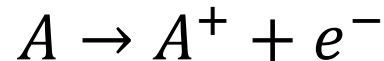
Радияциялық әсер ету кезінде қатты денелердегі бастапқы процестер

Мархабаева А.А

- Радиациялық материалтану – ионизирлеуші сәулеленудің (γ-сәуле, рентген, нейтрондар, протондар, иондар) қатты денелермен әрекеттесуін, құрылымында туындайтын дефектілерді, олардың эволюциясын және материал қасиеттеріне әсерін зерттейтін ғылым.
- Қатты денелерге сәулелену түскен сәтте бірнеше **ультражылдам (10^{-15} – 10^{-12} с)** бастапқы процестер жүреді. Бұл процестер кейінгі радиациялық зақымдану механизмдерінің негізі болып табылады.

Қатты денедегі бастапқы радиациялық процестер

- **Электрондық процестер (10^{-15} – 10^{-12} с)**
- **Иондау және электрондарды қоздыру**
Есәуле > Ебайланыс кезінде атом электрондарын жұлып алады:



- **Электрон–кемтік жұптарының пайда болуы**
- Жартылайөткізгіштер мен диэлектриктерде:
$$e^{-} + h^{+}$$
- **Электрондардың жылдам релаксациясы**
– Көбіне электрондар бірнеше пикосекунд ішінде төменгі деңгейлерге түседі.
- Бұл кезең — **электрондық каскад** деп аталады.

Атомдық (ядролық) процестер (10^{-13} – 10^{-10} с)

- Егер бөлшек энергиясы атомды орнынан ығыстыру шегінен ($E_d \approx 25\text{--}40$ eV) жоғары болса:
- **Біріншілік ығыстырылған атом (БЫА)**
 - БЫА кристалл торында жоғары энергиямен қозғалатын атом.
- **Каскад түзілуі**
 - БЫА басқа атомдарға энергия беріп, олардың да ығысуын тудырады.
- **Френкель-жұптарының пайда болуы**
 - Вакансия (V)
 - Интерстициал (I)
- $A \rightarrow V + I$
- Бұл кезең — **ығыстыру каскады (displacement cascade)**.

Радиациялық каскадтың даму кезеңдері

- **Баллистикалық кезең**

Атқарылатын уақыт: 10^{-14} — 10^{-12} с

Жылдам атомдар тор арқылы қозғалып, ондаған—жүздеген ығыстыру жасайды.

- **Термо-шок кезеңі**

Каскад аймағында температура 1000—3000 К дейін көтерілуі мүмкін.

Қысқа уақытқа **балқу аймағы** түзіледі (thermal spike).

Радиациялық каскадтың даму кезеңдері

- **Салқындау және дефектілерді бекіту**
- Балқу аймағы суынғаннан кейін остов қалдықтары қалыптасады:
 - вакансииалар
 - интерстициалдар
 - кластерлер
 - дислокациялық петельдер
 - комплекстер: V–O, V–H, I–impurity

Радиациялық процестердің материал қасиеттеріне әсері

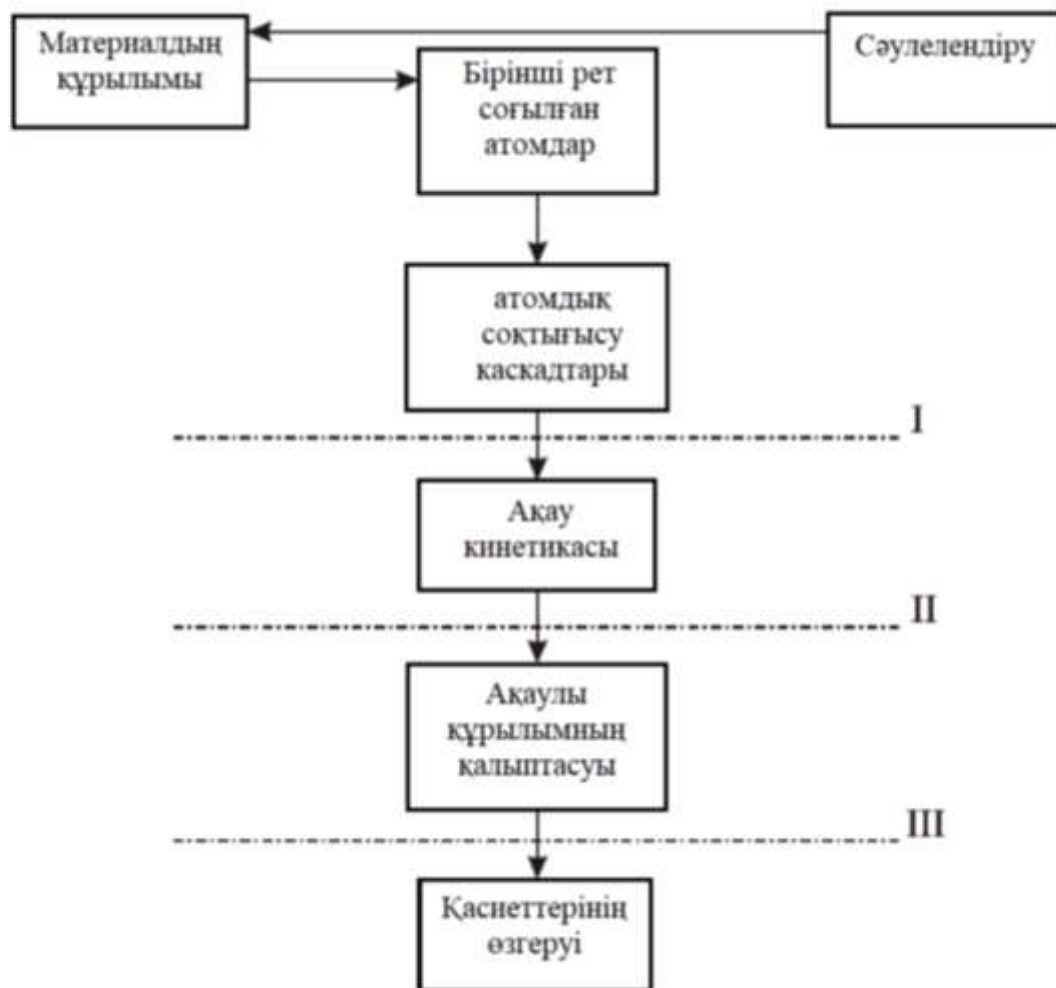
- **Механикалық қасиеттер**
- Морттану
- Қаттылық арту
- Сығылу беріктігінің өзгеруі
- **Электрлік қасиеттер**
- Тасымалдаушылардың рекомбинация жиілігінің өсуі
- Электрөткізгіштіктің төмендеуі
- Дефектілік деңгейлердің пайда болуы
- **Оптикалық қасиеттер**
- Жарық жұтылудың артуы
- F-орталықтар
- Түсті орталықтар түзілуі

Радиациялық процестердің материал қасиеттеріне әсері

- **Химиялық тұрақтылық**
- Радиация-стимулденген диффузия
- Тотығу жылдамдығының өзгеруі

Практикалық маңызы

- Радиациялық бастапқы процестерді түсіну:
- ядролық энергетикада (қаптамалық материалдар, ЖЭУ реакторлары)
- термоядролық қондырғыларда (W, W-NiCr жабындары)
- ғарыш техникасында
- радиациялық тұрақты жартылайөткізгіштер жасауда
- наноматериалдардағы сәулемен модификациялау жұмыстарында өте маңызды.



Сурет 1.1 Материалдардың радиациялық бұзылуының негізгі кезеңдері

I – динамикалық; II – диффузиялық; III – ағын (сток) эволюциясы

Қорытынды

Радиациялық әсер ету кезінде қатты денелерде жүретін бастапқы процестер ультрақысқа мерзімде өтеді және материалдың құрылымдық, механикалық, электрлік және оптикалық қасиеттерін анықтайтын негізгі фактор болып табылады. Бұл процестерді терең түсіну радиациялық төзімді материалдар жасауда шешуші рөл атқарады.