

Гамма цацрагийн үйлчлэлээр Усанболор (SiO_2) -т үүсэх парасоронзон дефектийн судалгаа

Н.Төвжаргал^{1,*}, Д.Баатархүү², Т.Очирхуяг¹, Ж.Даваасамбуу¹, and Г.Шилагарди¹

¹Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх ухааны сургуулийн физикийн тэнхим, Улаанбаатар хот 210646, Монгол улс

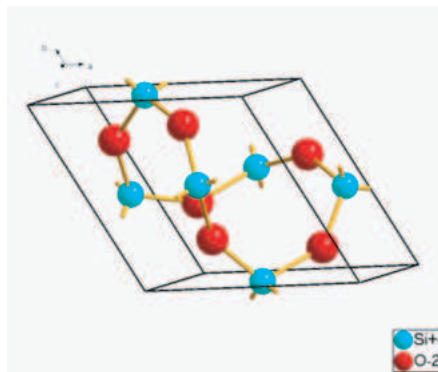
²Монгол Улсын Их Сургуулийн Цөмийн физикийн судалгааны төв

Янз бүрийн үнэт болон хагас үнэт чулууны өнгийг өөрчилж хүссэн өнгө хэлбэрт оруулах асуудал үргэлж судлаачид төдийгүй хэрэглэгчидийн сонирхлыг татаж байдаг. Бид энэ ажлаар байгалийн хагас үнэт чулуу болох усанболор (SiO_2)-ийн өнгийг гамма цацрагийн үйлчлэлээр өөрчилж, түүнд үүсэх парасоронзон дефектийг ЭПР спектроскопийн аргаар судлав. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд дээжийг гамма цацрагаар шарсны үр дүнд түүнд олон тооны парасоронзон төвүүд үүсэж усан болорын зоны бүтцэт өөрчлөлт орж материалын өнгө өөрчлөгдөж байгаагаас гадна дулааны боловсруулалтын горимоос хамааран парасоронзон дефектүүд тодорхой хэмжээгээр эдгэрч байгааг үзүүлэв.

PACS numbers: 61.80.-x, 72.10.Fk, 61.72.Nh

I. ОРШИЛ

Байгалийн үнэт болон хагас үнэт чулуунуудыг гоёл чимэглэл, ахуйн зориулалтаар өргөн хэрэглэдэг. Зарим байгалийн хагас үнэт чулуунуудыг гамма (γ) цацрагаар шарахад тэдгээр нь өнгөний хувиралд ордог. γ цацраг хатуу биетэй харилцан үйлчлэхэд тэнд цацрагийн энергиэс хамааран Комптоны сарнил, фотоцахилгаан эффект, электрон позитроны хос үүсэх гэх мэт үзэгдлүүд явагдах боломжтой. Эдгээр үзэгдэлүүдийг дагалдан явагдаж байгаа олон процессуудын дүнд дээжний өнгө хувирч байгаа болно. Энд үүсэж байгаа өнгөний хувирлын үүсэл шалтгааныг тайлбарлах нь чухал ач холбогдолтой. Түүнчлэн үнэт чулууны өнгийг өөрчлөхдөө ихэвчлэн түүнийг янз бүрийн элемент, бодисоор хольцох замаар янз бүрийн өнгө үзэмж, чанар бүхий материал гаргаж авдаг. Тухайлбал усанболорыг Fe^{+3} ионоор хольцоход үзмэн ягаан өнгөтэй болдог бол Be^{+2} ионоор хольцоход ногоон өнгөтэй болдог. Болор нь байгаль дээр усанболор, утаат болор, сүүн болор гэж нэрлэгдэх хэлбэрүүдээр элбэг тохиолддог. Эдгээр нь бүтэц найрлагын хувьд ижил боловч кристаллжилтаараа ялгаатай байдаг. Бид энэ ажлаар усанболорт γ -цацрагийн үйлчлэлээр үүсэх эффектийг ЭПР спектроскопийн аргаар дулааны боловсруулалтаас хамааруулан судлах болно. Бид дээжээ сонгохдоо байгальд өргөн тархацтай байдаг хагас үнэт чулуу болох усанболор (SiO_2)-ыг сонгож авсан. Энэ чулуу нь гоёл чимэглэлийн зориулалтаар манай орны хувьд өргөн хэрэглэгддэг. Зураг.1-т усанболорын кристалл бүтцийг үзүүлэв. Энд



Зураг 1: Усанболор (SiO_2) -ийн кристалл бүтэц

кристалл системийн симметр нь $R\bar{3}21(154)$, торын параметрууд нь $a = b = 4.913\text{Å}$, $c = 5.405\text{Å}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ болон торын эзэлхүүн $V = 113.03\text{Å}^3$ болно.

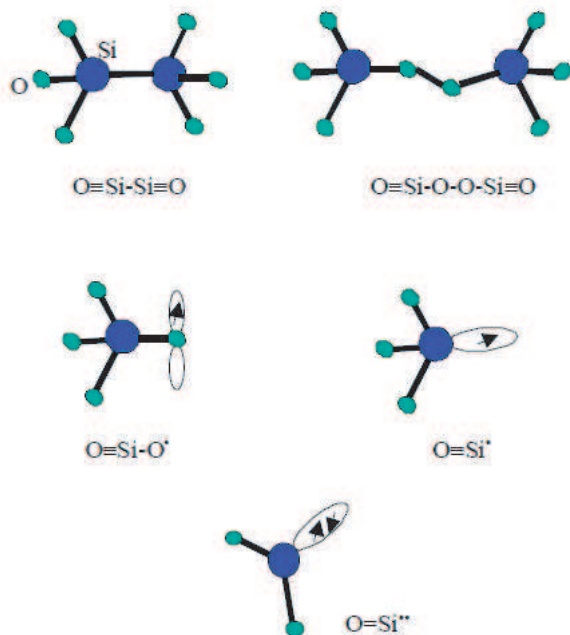
II. УСАН БОЛОРТ ҮҮСЭХ ЦЭГЭН ДЕФЕКТҮҮД

Усанболорыг γ -цацрагаар шарахад түүний өнгө өөрчлөгдөн утаат болор болдог нь цацраг бодисын харилцан үйлчлэлийн дүнд кристаллд олон янзын урвал процессууд явагдсаны дүнд үүсэх эффектүүдтэй холбоотой. Эдгээр эффектүүдийн нэг нь цэгэн дефект юм [1]. Цэгэн дефектүүд нь үүсгэж байгаа шалтгаанаасаа хамаараад олон янз байх боломжтой. Цэгэн дефектүүд нь эгэл торд атомын шилжилт үүсэх, атомуудын холбоос тасрах болон гадны өөр хольцын атомууд орж ирснээс шалтгаалан атомын бүтцэд гажилт үүсгэдэг [2]. Цэгэн дефектүүдийг тэдгээрийн

*Electronic address: tuvjargal@num.edu.mn

электроны конфигурацид нь үндэслэн хослоогүй электронуудаас тогтож байвал *парасоронзон* дефект, бусад тохиолдлуудыг нь *диасоронзон* дефект гэж ангилдаг. Парасоронзон дефект нь хослоогүй электронуудын тэг биш соронзон моментуудаас шалтгаалан соронзон резонансын шингээлт буюу Электроны парасоронзон резонанс (ЭПР) өгдөг.

Цэгэн дефектүүдийн жишээ гэвэл: нүх үүсэх (торын зангилаа цэгт атом алга болох), завсрын (торын зангилаа биш завсарт атом байрлах) болон валентийн ($Si - O$ холбоос эвдрэх) дефектүүд болно. Усанболорт үүсэх цэгэн дефектүүд нь дараахи хэлбэрүүдтэй байна. Үүнд: нейтрал хүчилтөрөгчийн нүх [3]: $O \equiv Si - Si \equiv O$, перокси гүүрэн: $O \equiv Si - O - O - Si \equiv O$, гүүрэн биш хүчилтөрөгчит: $O \equiv Si - O^\bullet$, гурван координаттай цахиуран: $O \equiv Si^\bullet$ (ихэвчлэн E' төв гэж нэрлэдэг.), хоёрлосон координаттай цахиуран: $O = Si^{\bullet\bullet}$. Эдгээрийн дефектүүдийн дүрслэлийг зураг.2-т үзүүлэв. Эдгээр дефектүүд



Зураг 2: Усанболорт (SiO_2)-т үүсэх зарим цэгэн дефектүүд: Энд сумаар электроны спинийг, $-$, $=$, \equiv Si -той холбогдох O -ийн холбоосыг, \bullet -ээр холбоос нь эвдэрсэн хослоогүй электроныг, $\bullet\bullet$ -ээр холбоост ороогүй электроны хосыг дүрслэн үзүүлэв.

нь электрон эсвэл нүхийг барих зарим энергийн төлвүүдийг үүсгэдгийг тэмдэглэх хэрэгтэй. Цэгэн дефектийн үндсэн болон өдөөгдсөн электроны төлвүүд нь усанболорын хаалттай бүсийн энергиэс бага энергийн завсартай байна. Иймээс $O \equiv Si - O^\bullet$ болон $O \equiv Si^\bullet$ дефектүүдийг валентийн болон дамжуулаллын бүсийн хооронд байрлах төлвүүдтэй холбоотой үүсдэг тул

эвдэрсэн холбоосын төлөв гэж нэрлэдэг. Цахилгаан соронзон орноор үүсгэгдэж байгаа электроны төлвийн шилжилттэй холбоотой дефектүүдтэй холбоотойгоор материалын шингээлтийн болон цацаргалтын бүсийн энергийн завсар өөрчлөгдөх бөгөөд энэ нь тухайн материалын тунгалаг чанар өөрчлөгдөх шалтгаан болдог. Мөн эдгээр дефект нь электрон болон нүхийг барих учраас материалын тусгаарлагч чанарыг ч өөрчилдөг. Түүнчлэн парасоронзон дефект нь маш бага ($\sim 10\mu eV$) засвар бүхий электроны төлвүүдийн дахин хуваарилалт болон соронзон орны нөлөөгөөр материалын соронзон шинж чанар мөн өөрчлөгддөг. Парасоронзон дефектүүдээс шалтгаалан материалын оптик шингээлт, цацаргалтын бүс өөрчлөгдөх бөгөөд электроны парасоронзон резонансын үзэгдэл ажиглагдах шалтгаан болно. $O \equiv Si - O^\bullet$ болон $O \equiv Si^\bullet$ хэлбэрийн дефектүүд нь ^{29}Si болон ^{17}O изотопоор баялаг болсон дээжүүдэд ажиглагдана [4].

γ цацрагийн үйлчлэлээр цэгэн дефект үүсэх процесс

Материалыг халаах, хөргөх болон механик үйлчлэлд оруулах зэрэг янз бүрийн аргаар цэгэн дефектүүд үүсгэж болдог. Үүний нэг болох өндөр энерги бүхий цацрагийн үйлчлэлээр цэгэн дефект үүсэх механизмийг авч үзье.

Усанболорт цэгэн дефект үүсгэх хамгийн өргөн хэрэглэгддэг механизм нь бөөмсийн (электрон, нейтрон, ион гэх мэт) багц цацраг эсвэл иончлогч цацраг (UV, X-ray, γ -цацраг гэх мэт)-аар шархах зэрэг орно. Материалыг γ -цацрагаар шарсаны дүнд түүний энергиэс хамааран олон процесс явагдах боломжтой. Бага энерги бүхий цацрагийн үйлчлэлээр зонхилон Компторны сарнил тохиолдох бөгөөд үүний дүнд дараахи хоёр механизм явагддаг. Үүнд:

- Knock-on процесс: энэ нь цацаргалтын кинетик энергиэ шууд солилцсоны дүнд атом шилжих процесс
- Radiolysis процесс: энэ нь электроныг өдөөх эсвэл иончилсоны дүнд атом байрлал шилжих болон холбоос тасрах процесс

Цацрагийн үйлчлэлээр нийт кинетик энерги хадгалагдах харимхай болон цацаргалтын кинетик энергийнхээ тодорхой хэсгийг электроны шилжилт хэлбэрээр алдах харимхай биш гэсэн хоёр төрлийн knock-on процессын явагдах [5]. Атомын шилжилтийн дүнд дефект үүсэхийн тулд үйлчилж буй цацраг бай атомын холбоосыг таслахын тулд хангалттай энергитэй байх хэрэгтэй. Атомыг шилжүүлэхэд шаардагдах

энергийг шилжилтийн энерги T_d гэж нэрлэдэг. Энэ нь Si-ийн хувьд $T_d^{Si} \cong 20eV$, O-ийн хувьд $T_d^O \cong 10eV$ байх бол Si – O холбоосын энерги $\sim 5eV$ орчим байдаг [6]. Хурдан нейтрон, дулааны нейтрон, их энергитэй электрон болон γ цацрагаар шарах үед "knock-on" мөргөлдөөний дүнд атомын шилжилт үүсдэг. Тухайлбал, усанболорыг хурдан нейтрон ($E > 0.1MeV$)-оор шарах үед атомын шилжилтийн процессийн дүнд $\sim 2 \cdot 10^{19}$ спин/см³ парасоронзон төв (нийт хүчилтөрөгчийн атомын 0.05%) үүсдэг байна [7].

Radiolytic процессын үед эхлээд электроны төлвийг өөрчлөх боловч энэ нь тогтворгүй ион эсвэл атомын дефект хэлбэрээр тогтоно. Эдгээр өдөөгдсөн электронууд нь электроны тогтвортой төлөв хүртэл бусад процессуудын шалтгаан болно. Электроны өдөөлт, иончлол болон холбоос эвдрэх энэ процесс (radiolytic) электрон болон γ цацрагийн үйлчлэлийн үед knock-on процессоосоо хэд дахин их тохиолддог. Цацрагийн үйлчлэлээр үүсэх эффект нь ихэвчлэн материалд шингээгдсэн энергийн хэмжээгээр тодорхойлогддог. Энэ энергийг тодорхойлохын тулд эхлээд сарнилын дифференциал огтлол $\sigma_E(\Theta, T)$ -ийг авч үздэг. Үл хамаарах мөргөлдөөний тохиолдол (knock-on, radiolytic)-уудын хувьд $\sigma_E(\Theta, T)$ нь тусаж байгаа E энерги бүхий бөөмсийн T -ээс $T + dT$ энергийн завсар болон θ -ээс $\theta + d\theta$ хазайлтын өнцгийн завсар дахь магадлалын нягт юм. Дифференциал огтлолоос бай материалын нэгж уртад шилжүүлэх энерги $(-dE/dx)$ -ийг олох боломжтой. Мөргөлдөөний туршид дээж материалд шилжих энерги T бол дээжний δr завсарт шилжүүлэх дундаж энерги нь:

$$\langle T \rangle = N \delta r \int_0^\pi \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} T \sigma_E(\Theta, T) d\theta dT. \quad (1)$$

Энд N нь нэгж эзэлхүүн дэх сарнилын төвийн тоо, T_{\max}, T_{\min} нь шилжүүлэх энергийн хамгийн их болон бага утга, δr нь нэг мөргөлдөөний хувь дахь хангалттай бага хэмжээс. Түүнчлэн δr завсарт алдсан дундаж энерги $\langle \Delta E_1 \rangle$ нь дээж материалын нэгж уртад шилжүүлэх энергитэй тэнцүү:

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right) = -\frac{\langle \Delta E_1 \rangle}{\delta r} = N \int_0^\pi \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} T \sigma_E(\Theta, T) d\theta dT. \quad (2)$$

Алдсан энергийг шингээгдсэн дозе гэж нэрлэдэг бөгөөд дээжний зузаан x бол энэ дараахи хэлбэртэй байна.

$$D = \frac{\phi \Delta t}{x} \int_0^x \left| \frac{dE}{dx} \right| dx, \quad (3)$$

энд $\phi \Delta t$ нь тусч байгаа бөөмсийн урсгал.

Radiolytic процессын үед үүсдэг түгээмэл дефектүүдийн нэг бол парасоронзон төв юм. Энэ нь хослоогүй электронтой молекулын нэгж бөгөөд түүний шинж чанарыг соронзон орон ашиглан ЭПР спектроскопи ашиглан судладаг [8]. Парасоронзон төвүүд нь photolysis, thermolysis, radiolysis, electrolysis болон бусад химийн урвалын дүнд үүсдэг. Хүчилтөрөгч нь парасоронзон төвүүд үүсгэхэд маш идэвхитэй оролцдог. Хамгийн түгээмэл парасоронзон төвүүдэд чөлөөт радикалууд, бирадикалууд, парасоронзон металл ион, гурвалсан үндсэн төлөв бүхий хүчилтөрөгчийн O_2 молекул болон парасоронзон дамжуулаллын төрлүүд орно. Парасоронзон төвүүд нь өөр өөр спин болон тогтворжилттой байдаг. Парасоронзон төвүүдийн соронзон момент нь тэдгээрийн спинээс хамаарах ба гадны соронзон орны нөлөөгөөр тэдгээр соронзон момент нь цэгцэрсний дүнд ЭПР дохио бүртгэгддэг.

Материалд үүсэж байгаа цэгэн дефектүүдийн үүсэх процессийг танин мэдэхийн тулд дулааны боловсруулалтын аргыг өргөн хэрэглэдэг. Цацрагийн үйлчлэлээр үүссэн зарим дефектүүд нь материалын температурыг нэмэгдүүлэхэд алга болдог. Ерөнхийдөө цацрагийн үйлчлэлд соронзон материалыг халаахад тодорхой температурт тодорхой дефектүүд арилдаг байна. Түүнчлэн энэ аргаар дефектийн бүтэцтэй холбоотой молекулын холбоосын хүч, дефектийн потенциал нүхний гүн зэрэг чухал мэдээлэлүүдийг олох боломжтой. Мөн дулааны боловсруулалтын аргаар тодорхой үзэгдлүүдийн хамаарал зүй тогтолыг судлах боломжтой. Тухайлбал, оптик шингээлтийн спектроскопи болон ЭПР спектроскопи арга ашиглан тодорхой дулааны боловсруулалтын нөхцөл дор материалын макроскопик шинж чанарыг судлах боломжтой.

Бид энэ ажлын хүрээнд монгол орны байгалийн дээж болох кристалл усанболор дээжийн хувьд өндөр энерги бүхий γ цацрагаар шарсан болон шарсны дараа дулааны боловсруулалтанд оруулсан дээжүүдэд үүсэх парасоронзон дефектүүдийн концентрациас нь хамааруулан ЭПР спектроскопийн аргаар судлах зорилготой.

III. ЭЛЕКТРОНЫ ПАРАСОРОНЗОН РЕЗОНАНСЫН ЭФФЕКТ

ЭПР нь соронзон орон дахь дээжинд микродолгионоор илрүүлсэн парасоронзон дефект ажигладаг эффект юм [8]. Соронзон орны нөлөөгөөр энергийн түвшинд Зееманы салалт болдог. Соронзон оронд хослоогүй

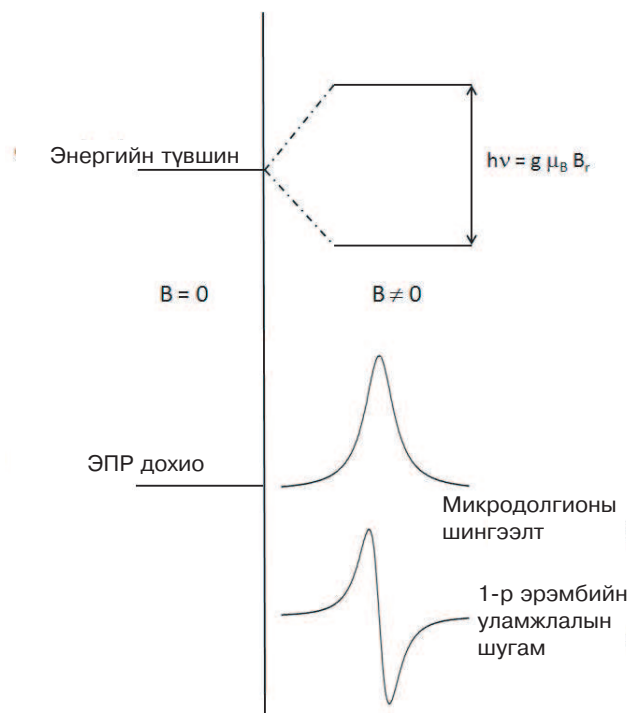
электронуудын энергийн түвшнүүд салсны дараа тэдгээрийн соронзон моментууд нь янз бүрийн чиглэлтэй байдаг. Ө.х соронзон индукцийн вектор B -тэй параллель болон параллель биш янз бүр байна. Соронзон орон дахь соронзон момент болон спины соронзон квант тоо M_s нь хоёулаа $2S + 1$ утгатай байна. Соронзон оронд M_s спины соронзон квант тоо бүхий хослоогүй электроны энергийн түвшин $2S \pm 1$ түвшнүүдэд салаалдаг. Хослоогүй электрон микродолгионоор өдөөгддөг ба энд микродолгионы энерги болон давтамж нь дараахи илэрхийлэлийн дагуу өгөгдсөн резонансын нөхцөл биелэх тохиодолд их энергитэй түвшин рүүгээ шилжинэ:

$$h\nu = E_2 - E_1 = g\mu_B B_r, \quad (4)$$

энд h нь Планкийн тогтмол, ν нь микродолгионы давтамж, g нь спектроскопик фактор, μ_B нь Борын магнитон, B_r нь резонансын соронзон орны индукцийн вектор, E_2 нь хослоогүй электронуудын өдөөгдсөн төлөвийн энерги, E_1 нь хослоогүй электронуудын үндсэн төлөвийн энерги. B индукцийн вектортой соронзон орон дэх M_s соронзон спины квант тоо бүхий хослоогүй электроны энерги дараахи хэлбэртэй байна.

$$E(M_s) = M_s g \mu_B B_r. \quad (5)$$

ЭПР эффектийг бас электроны спин резонанс (ЭСР) гэж нэрлэдэг. Учир нь парасоронзон материал дэх хослоогүй электронууд нь хослоогүй спинтэй байдаг. ЭПР (ЭСР) спектроскопийн үндэс нь дээр тодорхойлсон эффект болдог бөгөөд энэ нь парасоронзон дефектүүдийг судлах туршилтын аргын үндэс болдог. Парасоронзон материалуудыг соронзон оронд оруулахад тэгш, 4 резонансын нөхцлийг хангах энерги бүхий микродолгионыг шингээдэг. ЭПР спектроскопийг ашиглан шингээлт болон нэгдүгээр эрэмбийн уламжлалын шугамд анализ хийх болно. Нэгдүгээр эрэмбийн уламжлалын муруйн комплекс парасоронзон төвүүдийн систем бүхий дээжүүдийн хувьд маш чухал байдаг. Олон компонент бүхий ЭПР спектрын компонентүүдийн шугамын нарийвчлал шингээлтийн муруйн хувьд нэгдүгээр эрэмбийн уламжлалаар хялбар ялгагдана. Чөлөөт радикал бүхий парасоронзон материалын хувьд соронзон орны нөлөөгөөр $S = 1/2$ спин бүхий энергийн түвшинд Зееманы салалт болж хоёр түвшинтэй болно. Соронзон орон дэх чөлөөт радикалуудын Зееманы салалтыг зураг.3-т үзүүлэв. Зураг.3-т соронзон оронтой холон оронгүй үе дахь чөлөөт радикалуудын хослоогүй электроны энергийн түвшин болон микродолгионы шингээлт болон нэгдүгээр эрэмбийн уламжлалын муруй зэргийг үзүүлэв.



Зураг 3: $S = 1/2$ спинтэй чөлөөт радикалын соронзон орон дахь Зееманы эффект. Энд шингээлт болон эхний ЭПР шингээлтийн муруйг үзүүлэв. B -соронзон орны индукцийн вектор, B_r -соронзон резонансын индукци, h - Планкийн тогтмол, ν - микродолгионы давтамж, g - спектроскопик фактор, μ_B - Борын магнитон, $h\nu = g\mu_B B_r$ - резонансын томъёо.

IV. ТҮРШИЛТ

Судалгааны дээж болох цэвэр усанболор (SiO_2)-ийг тэнцүү хэсгүүдэд хуваагаад электроны цикл хурдасгуур Микротрон МТ-22 (МУИС-ийн ЦФСТ, Цацрагийн урсгалын нягт $\Phi_\gamma \simeq (7.2 \cdot 10^{11} - 1.2 \cdot 10^{11}) \gamma/cm^2 \cdot сек \cdot мкА$, $I_e = 9 мкА$) цацраг идэвхит үүсгүүр дээр $E_e = 22 МэВ$ хүртлэх энерги бүхий нил спектртэй саатлын гамма цацрагаар нэг цаг шарж бэлтгэнэ. Дээжны шараагүй хэсгийг шарсан дээжтэй харьцуулан судлахад ашиглах болно.

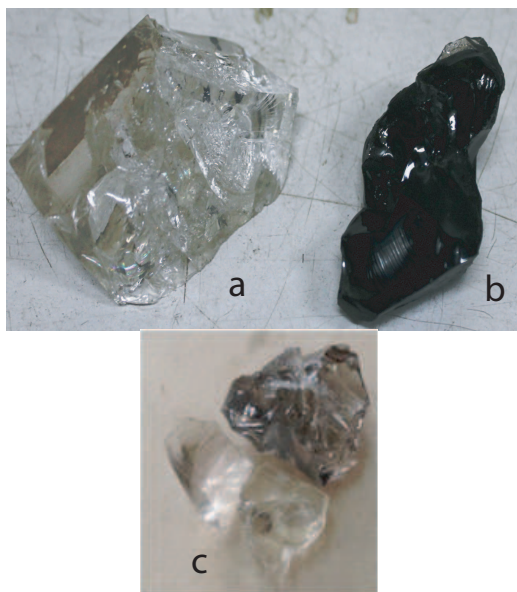
Дулааны боловсруулалт: Цацрагаар шарж бэлдсэн дээжний тодорхой хэсгүүдийг шатаах зууханд (МУИС-ийн орчны шинжилгээний лаборатори) $100^\circ C$ болон $200^\circ C$ температурт 24 цаг халааж дулааны боловсруулалтанд оруулан туршсан.

СЭПР2 (МУИС-ийн ЭПР спектроскопийн лаборатори) электроны парасоронзон резонансийн спектрометр ашиглан гамма

цацрагаар шарсан болон шараагүй, дулааны боловсруулалтанд оруулсан усанболорын дээжийн ЭПР спектрийг $\Delta H = 500$ Гс, $H_r = 1200$ Гс, $\tau = 0.3$ с, $\Delta t = 30$ с-ийн горимд хэмжсэн.

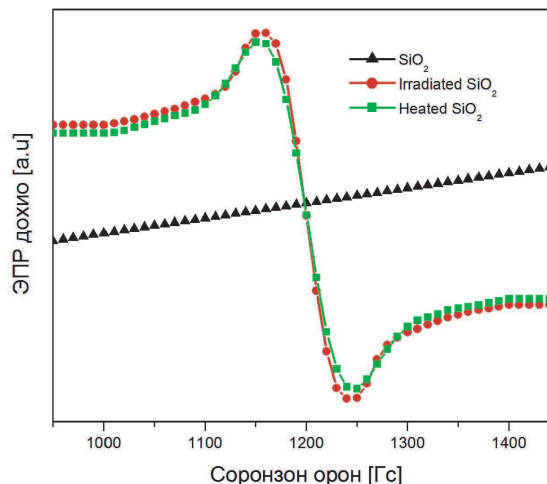
V. ҮР ДҮН

Сонгож авсан усанболор (SiO_2)-ын дээжээ γ - цацрагаар шарсны дараа дээж гүн хар өнгөтэй болж утаатболор болсон болон $200^\circ C$ температурт 24 цаг халааж дулааны боловсруулалтанд оруулсаны дараа буцаад тунгалагжиж байгааг зураг.4-т үзүүлэв. Гамма цацрагийн үйлчлэлээр



Зураг 4: Усанболор (SiO_2): a) байгалийн цэвэр дээж, b) γ цацрагаар шарсан дээж (Утаат болор), b) γ цацрагаар шарж утаат болор болгосон дээжийг $200^\circ C$ -т 24 цаг халаасны дараахи хагас тунгалаг усанболор.

усанболор дээжинд knock-on болон radiolysis процесс явагдсаны үр дүнд маш олон тооны янз бүрийн дефектүүд үүсэж байгаагийн нэг нь парасоронзон төвүүд юм. Үүнийг бид ЭПР спектроскопи ашиглан хэмжсэнийг зураг.5-т үзүүлэв. Энд нунтаг дээжийг хэмжсэн учраас гадны соронзон оронтой харьцуулахад гажиг нь ямарваа нэг зонхилсон зүгшрэл үүсгэснээс болж илрэх резонансын хэсгүүд бүртгэгдэхгүй гэсэн үг юм. Нунтаг дээжинд үүссэн дефект нь бүх чиглэлд ижил магадлалтайгаар байрлах тул бүртгэгдэж буй спектр нь бүх дефектийн нийлбэр хувь нэмрийг үзүүлнэ. ЭПР спектрт өгч байгаа 1200 Гс орны үед үүсэж байгаа резонанс нь гамма цацрагаар шарсны дүнд үүсэж байгаа парасоронзон дефектүүдэд харгалзана. Эндээс бид γ цацрагаар шарсан болон дулааны



Зураг 5: Цэвэр, γ цацрагаар шарсан болон $200^\circ C$ -т 24 цаг халаасан Усанболор (SiO_2) дээжийн ЭПР спектр.

боловсруулалтанд оруулсны дараа усанболор дээжинд үүсэж байгаа өнгөний хувиралыг тайлбарлах зорилгоор тухайн дээжинд үүсэж байгаа парасоронзон дефектийн концентрацийг нүүрсний эталон дээжний ЭПР спектртэй харьцуулах замаар үнэлсэн. γ цацрагаар шарсан усанболор дээжин дахь парасоронзон дефектийн концентарци $N_{ir} = 6.6 \cdot 10^{18}$ (спин/грамм) байгаа бол дулааны боловсруулалтанд оруулсны дараа $N_{ht} = 5.9 \cdot 10^{18}$ (спин/грамм) болж цөөрсөн байна. Эндээс γ цацрагийн үйлчлэлээр Усанболорт парасоронзон дефект үүсэх бөгөөд энэ дефект нь дулааны үйлчлэлээр эдгэж байгаа нь харагдаж байна.

VI. ДҮГНЭЛТ

Байгалийн хагас үнэт чулуу болох усанболор (SiO_2)-ийг γ цацрагаар үйлчлэхэд түүний өнгө өөрчлөгдөн утаат болор болж байна. γ цацраг бодистой харилцан үйлчилсэний дүнд цацрагийн энергиэс хамааран комптоны сарнил, фото-цахилгаан эффект, электрон позитроны хос үүсэх зэрэг процесс явагдсаны дүнд кристаллд олон янзын дефект үүссэний улмаас түүний өнгө өөрчлөгддөг. Бид өмнө рентген дифракцийн аргаар усанболорт γ цацрагийн үйлчлэлээр атомын шилжилт хийж, кристалл гажиж байгааг тогтоосон[9]. Бид энэ ажлаар γ цацрагийн үйлчлэлээр усанболорт парасоронзон төвүүд үүсэж байгааг ЭПР спектроскопийн аргаар судлаж тогтоов. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд гамма цацрагаар шарсны үр дүнд олон тооны парасоронзон төвүүд үүсч байгаагаас гадна дулааны боловсруулалтын дүнд эдгээр төвүүд эдгэрч байгааг үзүүлэв. Цаашид ЭПР

спектроскопийн аргатай оптик шингээлтийн спектроскопийн аргыг хослуулан янз бүрийн горимд дулааны боловсоруулалтанд оруулах замаар нарийвчлан судлах хэрэгтэй.

санхүүжүүлсэн ШУТС болон БСШУЯ-нд талархал илэрхийлье.

Талархал

Энэхүү ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж суурь судалгааны SST_018/2015 төслийг

-
- [1] Ed. Catlow R., "Defects and disorder in crystalline and amorphous solids" Kluwer Academic Publishers (1994)
 - [2] Kittel C., "Introduction to Solid State Physics" John Wiley and Sons (1971).
 - [3] Elliott S.R., "Physics of amorphous materials" Longman, London, 2 Ed. (1990).
 - [4] Griscom D.L., J. Ceramic Society of Japan 99 (1991) 899
 - [5] Eds. Devine R.A.B, Duraud J.P. and Dooryhée E., "Structure and imperfections in amorphous and crystalline silicon dioxide" John Wiley and Sons (2000).
 - [6] Gupta R.P., Phys. Rev.B 32 (1985) 8278.
 - [7] Chan S.L., Gladden L.F. and Elliott S.R., J. Non-Cryst. Sol. 106 (1988) 413.
 - [8] Wertz JE, Bolton JR., "Electron Spin Resonance: Elementary Theory and Practical Applications" London: Chapman and Hall; 1986.
 - [9] Ч.Цэцэнжаргал, Т.Очирхуяг, Н.Төвжаргал, Д.Баатархүү, Л.Ням-Очир. "Гамма цацрагийн үймчлэлээр усанболор (SiO₂)-т үүсэх эффекийн судалгаа" МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 438, ФИЗИК сэтгүүл (20), 2015, 63
 - [10] Л.Баяржаргал, Д.Сангаа, Д.Баатархүү., МУИС-ийн ЭШБ №179(10), 2003, 99-105
 - [11] Б.Бумаа, А.Бадмаараг, Д.Баатархүү, Д.Сангаа., ШУА-ийн ФТХ-ийн ЭШБ №36, 2008.