खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

विशेष आलेख (FEATURED ARTICLE)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.2

अवस्था-परिवर्तन स्मृति हेतु नैनो चैल्कोजेनाइड $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ की पतली फिल्म का संश्लेषण

कु० रंजना, आदित्य श्रीवास्तव, अर्चना श्रीवास्तवा, शमशाद अहमद खान
भौतिकी विभाग, सेंट एंड्रयूज कॉलेज गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, २७३००१, भारत
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- kmranjana767@gmail.com

आलेख प्राप्त:२० फरवरी २०२६; अंतिम संशोधन: २३ जून २०२६; स्वीकृत: २३ जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: ३० जून २०२६

सारांश

समूह 16 तत्वों (S, Se, Te) को धातुओं के साथ मिलाकर बनाई गई चैल्कोजेनाइड पतली फिल्में, अपनी उच्च अवरक्त पारदर्शिता, समायोज्य बैंड अन्तराल, और तीव्र अवस्था-परिवर्तन गुणों के कारण इलेक्ट्रॉनिक्स, सौर सेल और फोटोनिक्स के लिए महत्वपूर्ण सामग्री हैं। इस अध्ययन में $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड की पतली फिल्म का संशेलेषण भौतिक वाष्प संघनन तकनीक से किया गया है। इस तकनीक में, प्रारंभ में कक्ष को 10^{-5} टॉर तक निर्वातित किया गया, जिसके बाद कक्ष में 5 टॉर कार्यशील दाब पर अक्रियाशील परिवेशी आर्गन गैस की आपूर्ति की गई। ग्लास सब्सट्रेट पर पतली फिल्मों के निक्षेपण के लिए, $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ ग्लास को मोलिब्डेनम नाव में रखा गया। सब्सट्रेट को ठंडा करने के लिए तरल नाइट्रोजन (77 K) का उपयोग किया गया। निक्षेपित फिल्मों की मोटाई 20 नैनोमीटर है जिसे क्वार्ट्ज क्रिस्टल मॉनिटर द्वारा मापा गया है। एक्स-रे विवर्तन ने नमूनों की अनाकार प्रकृति की पुष्टि की गई है। पतली फिल्मो के आकृति विज्ञानं को समझने के लिए उच्च-रिज़ॉल्यूशन स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप तकनीकी का उपयोग किया गया है। संश्लेषित नैनो-चैल्कोजेनाइड फिल्मो के प्रकाशीय गुणधर्म को समझने के लिए UV/VIS/NIR स्पेक्ट्रोफोटोमीटर का उपयोग करके उनके प्रकाशीय अवशोषण गुणांक तथा प्रकाशीय बैंड अंतराल को मापा गया है। इन अध्ययनों के परिणाम यह सुझाव देते हैं कि ये फिल्मे अवस्था-परिवर्तन स्मृति उपकरणों के लिए एक उत्कृष्ट विकल्प हो सकती हैं।

सूचक शब्द: चैल्कोजेनाइड , नैनो-पतली फिल्में, UV-Vis स्पेक्ट्रोस्कोपी, अवशोषण गुणांक , अवस्था-परिवर्तन स्मृति

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

विशेष आलेख (FEATURED ARTICLE)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.2

Synthesis of thin films of nano chalcogenides $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ for phase-change memory

Kumari Ranjana*, Aditya Srivastava, Archana Srivastava, Shamshad A. Khan
Department of Physics, St. Andrew's College, Gorakhpur, Uttar Pradesh, 273001, India
Corresponding Author Email*-kmranjana767@gmail.com

Received on: 20 February 2026; Final Revision: 23 June 2026; Accepted: 23 June 2026
Published Online First on: 30 June 2026

ABSTRACT

Chalcogenide thin films, made by combining group 16 elements (S, Se, Te) with metals, are important materials for electronics, solar cells, and photonics due to their high IR transparency, adjustable bandgap, and fast phase-change properties. In this study, nano-chalcogenide $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ thin films have been synthesized by the physical vapor condensation technique. In this technique, the chamber was initially evacuated to 10^{-5} torr, after which inert ambient argon gas was supplied to the chamber at 5 torr working pressure. To deposit thin films on glass substrates, $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ glass was placed in a molybdenum boat. Liquid nitrogen (77 K) was used to cool the substrate. The thickness of the deposited films was 20 nm, measured using a quartz crystal monitor. X-ray diffraction confirmed the amorphous nature of the samples. High-resolution scanning electron microscope technology has been used to understand the morphology of thin films. To understand the optical properties of the synthesized nano-chalcogenide films, their optical absorption coefficient and optical band gap have been measured using UV/VIS/NIR spectrophotometer. The results of these studies suggest that these films could be an excellent choice for phase-change memory devices.

Keywords: Chalcogenides, nano-thin films, UV-Vis Spectroscopy, absorption coefficient, phase-change memory

लेखक परिचय

कुमारी रंजना

कुमारी रंजना का जन्म उत्तर प्रदेश के देवरिया जनपद में हुआ। इन्होंने अपनी स्नातक (B.Sc.) बी.आर.डी. पीजी . कॉलेज देवरिया एवं परास्नातक (M.Sc.) की शिक्षा सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर से प्राप्त की। प्रारंभ से ही मेधावी एवं जिज्ञासु प्रवृत्ति की छात्रा रही कुमारी रंजना ने अपनी शैक्षणिक यात्रा में निरंतर उत्कृष्ट प्रदर्शन किया है। वर्तमान में इन्होंने प्रो० शमशाद अहमद खान के कुशल मार्गदर्शन में अपना परास्नातक शोध प्रबंध (Master Dissertation) सफलतापूर्वक पूर्ण किया है। इनका शोध कार्य "अवस्था परिवर्तन स्मृति हेतु नैनोचाल्कोजेनिड की पतली फिल्म का संश्लेषण" विषय पर आधारित है, जो समकालीन वैज्ञानिक शोध के क्षेत्र में अत्यंत महत्वपूर्ण और प्रासंगिक माना जाता है। कुमारी रंजना भविष्य में अनुसंधान के क्षेत्र में अपना सशक्त योगदान देना चाहती हैं।

डॉ. आदित्य श्रीवास्तव

डॉ. आदित्य श्रीवास्तव का जन्म उत्तर प्रदेश के गोरखपुर जनपद में हुआ। इनकी प्रारंभिक शिक्षा राजकीय जुबिली इंटर कॉलेज, गोरखपुर से संपन्न हुई। इनकी स्नातक (B.Sc.) की शिक्षा सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर से तथा परास्नातक (M.Sc.) की उपाधि दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से प्राप्त की। इसके अतिरिक्त, इन्होंने शिक्षा शास्त्र में स्नातक (B.Ed.) की डिग्री सिद्धार्थ विश्वविद्यालय, कपिलवस्तु से अर्जित की। डॉ. आदित्य श्रीवास्तव ने वर्ष 2025 में दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से डॉक्टरेट (Ph.D.) की उपाधि प्राप्त की। इनका शोध कार्य प्रो० शमशाद अहमद खान के मार्गदर्शन में, भौतिकी विभाग, सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर स्थित मटेरियल साइंस रिसर्च लैब में "अर्धचालक क्वांटम डॉट्स के संश्लेषण एवं उनके अनुप्रयोग (Synthesis and Applications of Semiconductor Quantum Dots)" विषय पर संपन्न हुआ। डॉ. आदित्य के 10 शोध-पत्र अंतरराष्ट्रीय स्तर की विभिन्न प्रतिष्ठित पत्रिकाओं में प्रकाशित हो चुके हैं तथा उन्होंने 2 पुस्तक अध्यायों में भी योगदान दिया है। इसके अतिरिक्त, इनके नाम पर 3 राष्ट्रीय स्तर के पेटेंट दर्ज हैं। अपने शोधकाल के दौरान, इन्होंने 8 शोध-पत्र राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय सम्मेलनों में प्रस्तुत किए तथा 18 कार्यशालाओं, सम्मेलनों एवं वेबिनारों में सक्रिय सहभागिता की। वर्ष 2024 में इनका चयन बिहार लोक सेवा आयोग द्वारा व्याख्याता (भौतिकी) के पद पर हुआ। वर्तमान में ये सहयोगी उच्च विद्यालय सह इंटर कॉलेज, बथुआ बाजार, गोपालगंज, बिहार में अपनी सेवाएं प्रदान कर रहे हैं।

डॉ. अर्चना श्रीवास्तव

डॉ. अर्चना श्रीवास्तव का जन्म उत्तर प्रदेश के गोरखपुर जनपद में हुआ। उनकी प्रारंभिक शिक्षा अयोध्या दास बालिका इंटर कॉलेज, गोरखपुर से संपन्न हुई। उन्होंने वर्ष 2002 में विज्ञान संकाय से स्नातक तथा वर्ष 2004 में भौतिक विज्ञान विषय में परास्नातक की उपाधि दीनदयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से प्राप्त की। परास्नातक परीक्षा में उत्कृष्ट प्रदर्शन के लिए उन्हें विश्वविद्यालय का स्वर्ण पदक प्रदान किया गया। वर्ष 2005 में उन्होंने भौतिक विज्ञान विषय में GATE परीक्षा 89.29 परसेंटाइल के साथ उत्तीर्ण की। इसके उपरांत वर्ष 2006 में उन्होंने CSIR-UGC NET परीक्षा भी सफलतापूर्वक उत्तीर्ण की। वर्ष 2008 में डॉ. अर्चना श्रीवास्तव ने सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर में भौतिक विज्ञान विभाग में सहायक आचार्य के रूप में कार्यभार ग्रहण किया। वर्तमान में भी वे इसी संस्थान में सह आचार्य के पद पर कार्यरत हैं तथा अपनी शैक्षणिक एवं शोध सेवाएँ प्रदान कर रही हैं। वर्ष 2020 में उन्होंने दीनदयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से प्रोफेसर शमशाद अहमद खान तथा प्रोफेसर सुग्रीव नाथ तिवारी के कुशल मार्गदर्शन में अपना शोधकार्य पूर्ण कर डॉक्टरेट (Ph.D.) की उपाधि प्राप्त की। उनके शोध का विषय "चाल्कोजेनाइड काँच एवं पतली फिल्मों में प्रथम-क्रम प्रावस्था परिवर्तन (First Order Phase Transformation in Chalcogenide Glasses and Thin Films)" है। डॉ. अर्चना के अब तक 20 शोध-पत्र अंतरराष्ट्रीय स्तर की प्रतिष्ठित शोध पत्रिकाओं में प्रकाशित हो चुके हैं। इसके अतिरिक्त उन्होंने दो पुस्तक अध्यायों के लेखन में भी महत्वपूर्ण योगदान दिया है। उनके नाम पर एक राष्ट्रीय स्तर का पेटेंट भी दर्ज है। अपने शोधकाल के दौरान उन्होंने राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय सम्मेलनों में 9 शोध-पत्र प्रस्तुत किए तथा लगभग 15 कार्यशालाओं, संगोष्ठियों, सम्मेलनों एवं वेबिनारों में सक्रिय रूप से सहभागिता की।

प्रो० शमशाद अहमद खान

प्रो० शमशाद अहमद खान उत्तर प्रदेश, भारत के गोरखपुर स्थित सेंट एंड्रयूज कॉलेज के भौतिकी विभाग में कार्यरत एक वरिष्ठ एवं प्रतिष्ठित शिक्षाविद् तथा शोधकर्ता हैं। इनका जन्म उत्तर प्रदेश के महाराजगंज जनपद में हुआ। इन्होंने अपनी उच्च शिक्षा एम.एल.के. पीजी कॉलेज, बलरामपुर से पूर्ण की तथा वर्ष 2002 में जामिया मिलिया इस्लामिया, नई दिल्ली के भौतिकी विभाग से संघनित पदार्थ भौतिकी (Condensed Matter Physics) में डॉक्टरेट (Ph.D.) की उपाधि प्राप्त की।अपने शोधकाल के दौरान इन्होंने सीनियर रिसर्च फेलो के रूप में कार्य करते हुए ठोस अवस्था भौतिकी के क्षेत्र में महत्वपूर्ण अनुभव अर्जित किया। वर्ष 2004 में इन्होंने सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर के भौतिकी विभाग में सहायक आचार्य के रूप में अपनी शैक्षणिक सेवा प्रारंभ की। इसके पश्चात वर्ष 2007 में इनका चयन किंग अब्दुलअज़ीज़ विश्वविद्यालय, जेद्दा (सऊदी अरब) के विज्ञान संकाय में सहायक आचार्य के पद पर हुआ, जहाँ इन्होंने लगभग तीन वर्षों तक अध्यापन एवं शोध कार्य करते हुए आधुनिक वैज्ञानिक उपकरणों एवं उन्नत तकनीकों का व्यावहारिक ज्ञान अर्जित किया। तत्पश्चात इन्होंने पुनः सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर में अपनी सेवाएँ प्रारंभ कीं और तब से निरंतर शिक्षण एवं अनुसंधान में सक्रिय हैं। लगभग 25 वर्षों से अधिक

की अपनी शोध यात्रा के दौरान प्रो० खान ने भौतिकी विभाग में "मटेरियल साइंस रिसर्च लैब" की स्थापना की, जो वर्तमान में उन्नत शोध कार्यों का एक महत्वपूर्ण केंद्र है। इनकी प्रमुख शोध रुचियों में बल्क चैल्कोजेनाइड ग्लास के क्रिस्टलीकरण गतिकी (Crystallization Kinetics in Bulk Chalcogenide Glasses), बल्क एवं नैनो-पतली फिल्मों के संरचनात्मक, प्रकाशीय एवं विद्युत गुणों (Structural, Optical and Electrical Properties of Bulk and Nano-Thin Films) का अध्ययन तथा अर्धचालक क्वांटम डॉट्स का संश्लेषण एवं उनके संभावित अनुप्रयोगो (Synthesis and Possible Applications of Semiconductor Quantum Dots) शामिल हैं। इन क्षेत्रों में इन्होंने उल्लेखनीय योगदान दिया है। प्रो० खान के लगभग 100 शोध-पत्र प्रतिष्ठित अंतरराष्ट्रीय शोध पत्रिकाओं में प्रकाशित हो चुके हैं। इसके अतिरिक्त, इनके नाम पर राष्ट्रीय स्तर के 3 पेटेंट पंजीकृत हैं। इन्होंने राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय स्तर की अनेक पुस्तकों एवं पुस्तक अध्यायों में भी अपना महत्वपूर्ण योगदान दिया है। इन्होंने भारत सरकार के विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी मंत्रालय (DST) तथा विश्वविद्यालय अनुदान आयोग (UGC) द्वारा प्रायोजित कई शोध परियोजनाओं का प्रधान अन्वेषक (Principal Investigator) के रूप में सफलतापूर्वक संचालन किया है। साथ ही, इन्होंने एक अंतरराष्ट्रीय स्तर के वैज्ञानिक सम्मेलन का सफल आयोजन भी किया है, जो इनके संगठनात्मक कौशल और अकादमिक नेतृत्व का परिचायक है। प्रो० खान ने अपने अनुभव एवं विशेषज्ञता के माध्यम से अब तक 5 शोधार्थियों (Ph.D.) तथा 15 परास्नातक (M.Sc.) विद्यार्थियों के शोध कार्यों का सफलतापूर्वक मार्गदर्शन किया है। वर्तमान में वे विद्यार्थियों को गुणवत्तापूर्ण शिक्षा प्रदान करने तथा पदार्थ विज्ञान (Material Science) के क्षेत्र में उन्नत शोध को प्रोत्साहित करने के लिए निरंतर प्रयासरत हैं।

1. प्रस्तावना:

'चैल्कोजेनाइड' शब्द दो ग्रीक शब्दों से मिलकर बना है "चालकोस" इसका मतलब है अयस्क/खनिज, 'जेन' का मतलब होता है बनाना या उत्पन्न करना । इसलिए चैल्कोजेनाइड का साधारण मतलब होता है खनिज बनाना । आवर्त सारणी के ग्रुप 16 के तत्वों को चैल्कोजेनाइड कहा जाता है । ग्रुप में ऑक्सीजन (O), सल्फर (S), सेलेनियम (Se), टेल्यूरियम (Te) और पोलोनियम (Po) आते हैं, परंतु जब हम चैल्कोजेनाइड ग्लास की बात करते हैं तो उसमें सिर्फ तीन तत्व होते हैं सल्फर (S), सेलेनियम (Se) और टेल्यूरियम (Te) । हम चैल्कोजेनाइड श्रेणी बनाते समय ऑक्सीजन और पोलोनियम को इसलिए नहीं लेते क्योंकि ऑक्सीजन से बने ग्लास को ऑक्साइड ग्लास कहते हैं (जैसे सिलिका ग्लास) । ऑक्सीजन अवरक्त किरणों को अवशोषित करता है, अगर ऑक्सीजन मिला दे तो वह ग्लास नाइट विजन या थर्मल कैमरा के काम नहीं करेगा। पोलोनियम को ग्लास बनाने में इस्तेमाल न करने का कारण यह है कि यह एक रेडियोधर्मी तत्व है, इससे निकलने वाली विकिरण बहुत घातक होती है। [1], [2]

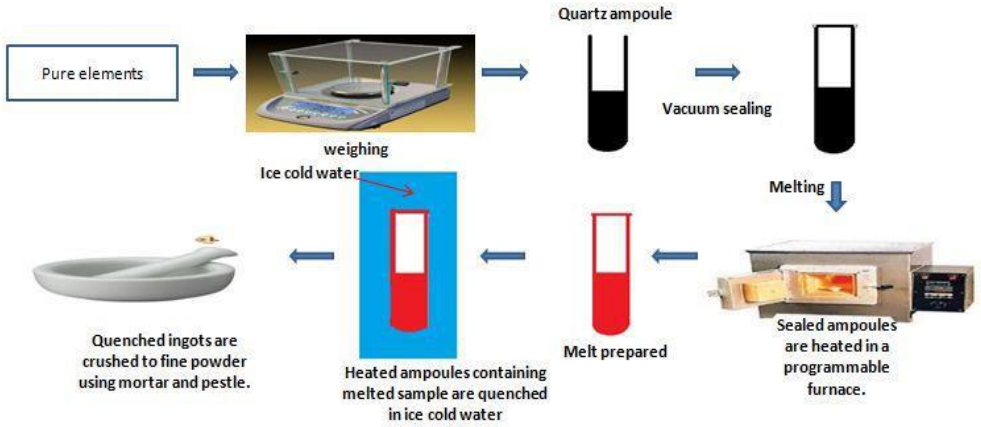
चैल्कोजेनाइड ग्लास दैनिक जीवन में उपयोगी चश्मे और खिड़कियों पर लगे कांच से अलग होते हैं। साधारण कांच हमें सिर्फ वह दिखता है जो हमारी आँखें देख सकती है, लेकिन चैल्कोजेनाइड ग्लास अवरक्त प्रकाश (उष्म किरणों) को अपने अंदर से गुजरने देता है। इस ग्लास की एक खासियत यह है कि सुगमतापूर्वक अपनी अवस्था बदल सकता है, यानि अनाकार (amorphous) स्थिति से क्रिस्टलीय (crystalline) स्थिति में परिवर्तित हो जाता है । इसका अपवर्तनांक साधारण कांच से बहुत अधिक होता है। यह ग्लास हवा और पानी से जल्दी खराब नहीं होता। दुनिया का पहला और सबसे प्रसिद्ध चैल्कोजेनाइड ग्लास Arsenic Trisulfide (As_2S_3) है। चैल्कोजेनाइड ग्लास का इतिहास किसी विज्ञान कथा पर आधारित चलचित्र की तरह है जो एक खूबसूरत पीले पत्थर से शुरू होकर आज के सुपर कंप्यूटर तक पहुंचता है। प्रारंभिक युग में इंसान को इस पदार्थों के बारे में तब पता चला जब ग्लास शब्द का वैज्ञानिक मतलब किसी को नहीं पता था। प्रकृति में आर्सेनिक ट्राइसल्फाइड एक पीले पत्थर के रूप में मिलता था जिसे रोम और ग्रीक के लोग इसका उपयोग रंग में करते थे। लेकिन तब किसी को नहीं पता था कि इसको पिघलाकर कांच बनाया जा सकता है। द्वितीय विश्व युद्ध के बाद वैज्ञानिकों ने ऐसी तकनीक विकसित करने का प्रयास किया जिसकी मदद से अंधेरे में भी देखना सुगम हो। रुडोल्फ फ्रेंच (1950) को चालकोजेनाइड ग्लास का जनक माना जाता है। उन्होंने प्रयोगशाला में आर्सेनिक ट्राइसल्फाइड तैयार किया। उन्होंने यह प्रदर्शित किया कि यह ग्लास अवरक्त किरणों को पूरी तरह से गुजरने देता है। इसी खोज ने 'नाइट विजन' तकनीकी की नींव रखी। [3], [4] सूचना प्रौद्योगिकी के बढ़ते क्षेत्र में ऑप्टिकल स्टोरेज उपकरणों के लिए नए और अभिनव पदार्थों की मांग बढ़ रही है, जिससे उनके प्रकाश-संबंधी गुणों का अध्ययन करना अनिवार्य हो गया है। अनाकार अवस्था से क्रिस्टलीय अवस्था में नियंत्रित चरण संक्रमण से गुजरने की उनकी क्षमता उन्हें ऑप्टिकल डेटा स्टोरेज में उपयोग के लिए योग्य बनाती है। इन पदार्थों में क्रिस्टलीकरण को नियंत्रित करने की एक महत्वपूर्ण विधि थर्मल एनीलिंग है। [5] ओवशिनस्की ने 1960 के दशक में एक मेमोरी डिवाइस का विचार प्रस्तुत किया, जिसने चालकोजेनाइड पदार्थों के अनाकार और क्रिस्टलीय चरणों के प्रत्यावर्ती विद्युत व्यवहार का लाभ उठाया। इस अवधारणा पर आधारित, ऑप्टिकल मेमोरी का निर्माण किया गया जो डेटा को स्टोर करने के लिए ऑप्टिकल परावर्तन में अंतर का उपयोग करती है। अवस्था परिवर्तन स्मृति युक्तियो में चालकोजेनाइड पतली फिल्मों के उपयोग ने उन्नत डेटा स्टोरेज समाधानों का मार्ग प्रशस्त किया है, जो कुशल डेटा प्रबंधन की बढ़ती मांग का समर्थन करता है। [6]

भट्ट एवं अन्य [7] ने अवस्था परिवर्तन स्मृति हेतु GeS_2 युक्त Sb_2Te_3 फिल्मो का संश्लेषण तथा बैंड अन्तराल में वृद्धि को प्रदर्शित किया। केमपराजू एवं अन्य [8] के द्वारा GeTe-Al_2Te_3 चैल्कोजेनाइड ग्लास का संश्लेषण ऊष्मीय वाष्पीकरण तकनीक से किया गया तत्पश्चात विद्युत स्विचिंग तथा अवस्था परिवर्तन स्मृति गुणों का भी अध्यनन किया गया। मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक द्वारा संश्लेषित बहुघटक $(Se_{85}Te_{15})_{95}Sn_xAl_y$ चैल्कोजेनाइड ग्लास के संरचनात्मक, ऊष्मीय और विद्युत गुणों का विवरण शोएब एवं अन्य [9] द्वारा प्रस्तुत किया गया तथा तैयार किए गए ग्लास के विद्युत चरण परिवर्तन व्यवहार का और चरण परिवर्तन मेमोरी डिवाइस अनुप्रयोगों के लिए Se–Te ग्लास में Al और Sn के समावेश के महत्व पर चर्चा की गई है। सितो एवं अन्य [10] ने Bi-Te द्विआधारी मिश्र धातुओं को इंटरफेशियल फेज चेंज मेमोरी के लिए एक वैकल्पिक उम्मीदवार के रूप में खोजा। ये पदार्थ चरण परिवर्तन स्मृति प्रदर्शन को अनुकूलित करने के साथ-साथ नवीन कार्यात्मक इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के निर्माण के लिए आशाजनक क्षमता प्रदान करते हैं। अली एवं अन्य [11] ने मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक द्वारा संश्लेषित GeTe चरण-परिवर्तन पदार्थों की क्रिस्टलीकरण गतिकी का अध्ययन किया गया। GeTe में अपने ग्लास नेटवर्क और विशिष्ट रिलैक्सेशन के कारण क्रिस्टल वृद्धि और न्यूक्लिएशन की दर अधिक दर्ज की गई है। ऐसे पदार्थो की अहमियत को

ध्यान में रखते हुए, इस शोध कार्य में हमने नैनो-पतली फ़िल्म के रूप में $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ का विश्लेषण किया है।

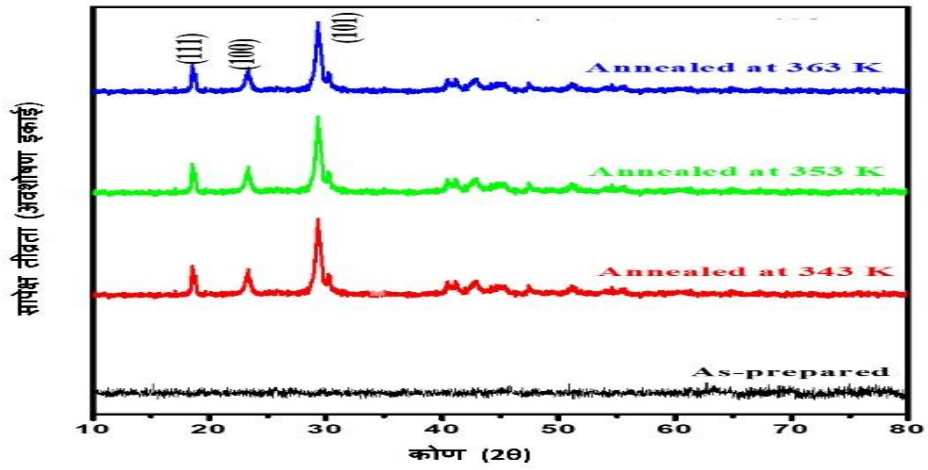
2. विवेचना:

इस शोध कार्य में हमारे द्वारा "मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक" से बल्क $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ ग्लास बनाया गया है। 5N शुद्धता वाली सामग्री, सेलेनियम (Se), इंडियम (In), टेल्यूरियम (Te) और टिन (Sn) को उनके परमाणु प्रतिशत के अनुसार मापा गया। इन्हें अल्ट्रासोनिक रूप से साफ किए गए क्वार्ट्ज़ एम्प्यूल्स में रखा गया था। एम्प्यूल्स को 10^{-5} टॉर वैक्यूम बनाए रखकर सील किया गया था। उच्च तापमान पर संश्लेषित नमूनों के ऑक्सीकरण से बचने के लिए एम्प्यूल्स के अंदर उच्च निर्वात बनाया गया था। इसके बाद, खाली किए गए एम्प्यूल्स को एक माइक्रोप्रोसेसर-नियंत्रित इलेक्ट्रिक फर्नेस में रखा गया, जो चार चरणों में संचालित होता था। पहले चरण में, तापमान को 2 घंटे के लिए 673 K पर बनाए रखा गया; दूसरे चरण में, इसे 2 घंटे के लिए 873 K तक बढ़ाया गया; तीसरे चरण में, इसे 3 घंटे के लिए 973 K पर सेट किया गया; और अंत में, चौथे चरण में, तापमान को 3 घंटे के लिए 1023 K तक बढ़ाया गया। पिघले हुए तत्वों की उचित समरूपता सुनिश्चित करने के लिए एम्प्यूल्स को लगातार हिलाया गया। इसके बाद, एम्प्यूल्स को बर्फ से ठंडे पानी में बुझाया गया। ठोस हो चुके नमूनों को एम्प्यूल तोड़कर निकाला गया और फिर उन्हें बारीक पाउडर में पीस लिया गया।



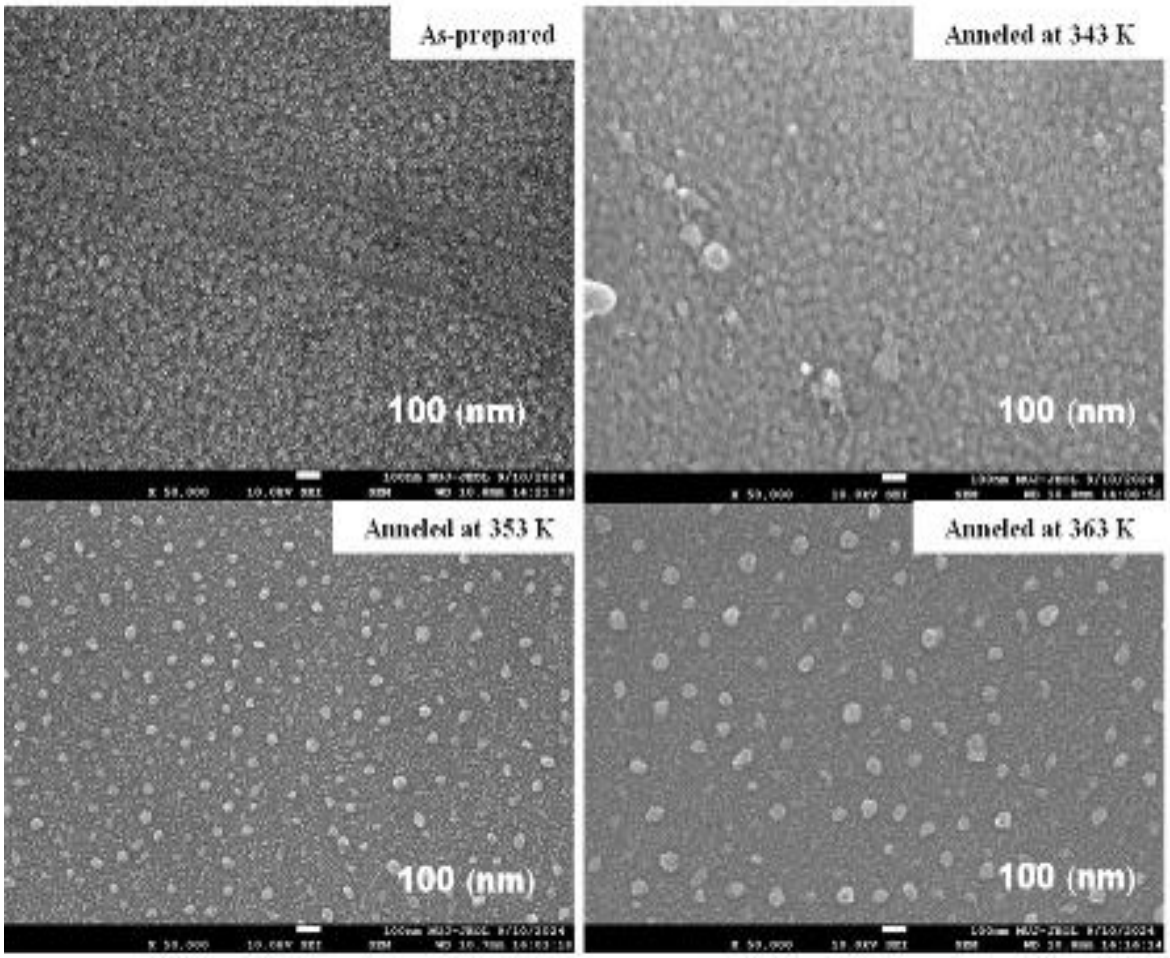
चित्र 1: बल्क चैल्कोजेनाइड ग्लास के संश्लेषण हेतु मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक का योजनाबद्ध आरेख (यह चित्र सन्दर्भ संख्या [1] से लिया गया है)

भौतिक वाष्प संघनन तकनीक द्वारा नैनो-चैल्कोजेनाइड की 20 नैनोमीटर मोटाई की पतली फिल्में बनाई गई है। फील्ड एमिशन स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (FESEM) तथा उच्च-रिज़ॉल्यूशन एक्स-रे विवर्तन (HRXRD) का उपयोग करके संशेलेतित पदार्थ के संरचना बारे में जानकारी प्राप्त किए हैं। अनाकार और क्रिस्टलीकृत पतली फिल्मों का HRXRD विश्लेषण रिगाकू अल्टिमा-IV एक्स-रे विवर्तनमापी का उपयोग करके किया गया, जिसमें 30 kV पर Cu-Kα विकिरण और 10 mA की धारा का प्रयोग किया गया। विवर्तन प्रोफाइल 10°-80° के 2θ रेंज में 2° प्रति मिनट की स्कैन दर के साथ प्राप्त किए गए, जिससे पतली फिल्म में मौजूद क्रिस्टलीय चरणों की पहचान संभव हुई।



चित्र 2: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों का HRXRD पैटर्न।

नैनो-चैल्कोजेनाइड की पतली फिल्म की सतह की आकृति विज्ञान का विश्लेषण उच्च-रिज़ॉल्यूशन JEOL/JSM 6610 स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप का उपयोग करके किया गया। चित्र 3 से स्पष्ट है कि तापमान बढ़ने के साथ फिल्मों की संरचना में महत्वपूर्ण परिवर्तन होता है। यह पाया गया कि प्रारंभिक अवस्था में तैयार की गई फिल्मो में सतह का खुरदरापन अधिक होता है, जबकि एनीलिंग की गई फिल्मों में एनीलिंग तापमान बढ़ने के साथ सतह पर कणिकाओं का निर्माण दिखाई देता है, जिससे यह संकेत मिलता है कि एनीलिंग तापमान में वृद्धि के कारण अनाकार अवस्था से क्रिस्टलीय अवस्था में अवस्था परिवर्तन अधिक स्पष्ट हो जाते हैं।



चित्र 3: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ की नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों की FESEM छवि।

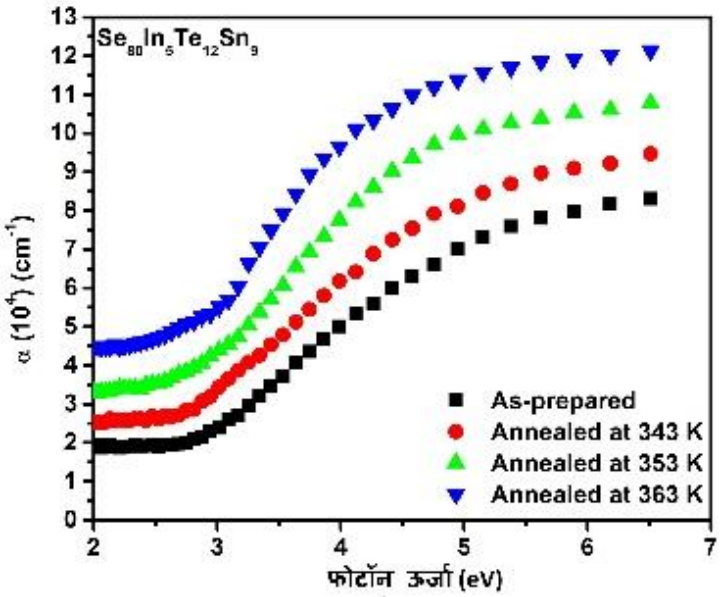
पतली फिल्म को अलग-अलग तापमान पर 2 घंटे तक ऊष्मीय ऊर्जा देकर इसकी "प्रकाशीय गुणों" का अध्ययन किया गया है। प्रकाशीय गुणों का अध्ययन JASCO UV/VIS/NIR स्पेक्ट्रोफोटोमीटर का उपयोग करके उनके प्रकाशीय अवशोषण को मापकर किया गया। माप 400-900 नैनोमीटर की तरंगदैर्ध्य सीमा पर किए गए थे।

निम्नलिखित समीकरण (1) का उपयोग करके, तैयार और एनील्ड $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ फिल्मों के अवशोषण गुणांक (α) की गणना की गई है। [12]

α = प्रकाशीय घनत्व / फिल्म की मोटाई (1)

सारणीबद्ध आंकड़ों से यह स्पष्ट है कि एक विशिष्ट तरंगदैर्ध्य पर, जैसे-जैसे एनीलिंग तापमान बढ़ता है, सभी पतली फिल्मों में अवशोषण गुणांक का मान बढ़ता जाता है। घातांकीय पूंछ पर α का मान निम्नलिखित संबंध द्वारा निर्धारित होता है। [13]

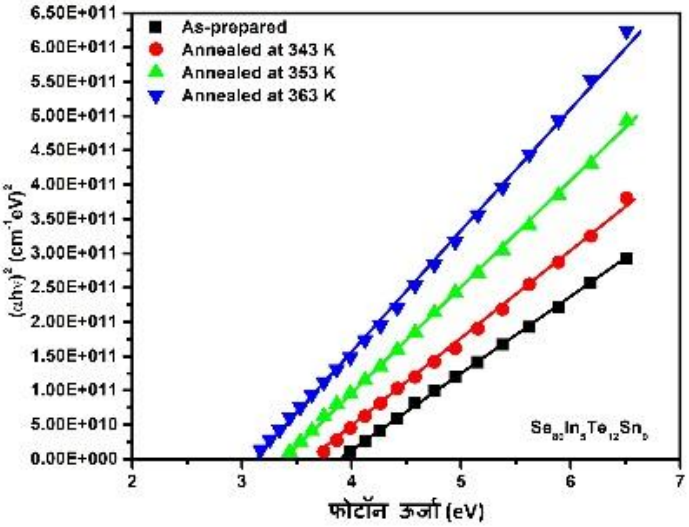
$$(\alpha h\nu)^p = B\,[h\nu - E_g] \qquad (2)$$



चित्र 4: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों के आपतित फोटॉन ऊर्जा (hν) के साथ अवशोषण गुणांक (α) में परिवर्तन का ग्राफ।

यहां B एक पैरामीटर को दर्शाता है जो संक्रमण की संभावना पर निर्भर करता है, E_g प्रकाशीय बैंड अन्तराल को दर्शाता है, और प्रकाशीय संक्रमण को सूचकांक p द्वारा निर्धारित किया जाता है। प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष बैंड अन्तराल के लिए p के मान क्रमशः 2 और ½ पाए गए हैं। इस स्थिति में, सबसे उपयुक्त p का मान 2 पाया गया है, जो प्रत्यक्ष प्रकाशीय संक्रमण का संकेत देता है। [14]

चित्र 5, तैयार की गई और एनील्ड $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ पतली फिल्मों की फोटॉन ऊर्जा (hν) के मुकाबले $(\alpha h\nu)^2$ के बीच ग्राफ को दर्शाता है। ग्राफ के रैखिक भाग को ऊर्जा अक्ष, यानी X-अक्ष पर विस्तारित करके, प्रकाशीय बैंड अन्तराल की गणना सीधे की जा सकती है। तालिका 1 में तैयार की गई $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ पतली फिल्मों के प्रकाशीय बैंड अन्तराल के मानों का सारांश दिया गया है।



चित्र 5: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों के लिए ऊर्जा (hν) के साथ $(\alpha h\nu)^2$ का ग्राफ।

यह पाया गया कि जब एनीलिंग तापमान बढ़ता है, तो प्रकाशीय बैंड अन्तराल सिकुड़ जाता है। अनाकार और क्रिस्टलीय अवस्थाओं के बीच होने वाले चरण संक्रमण प्रकाशीय बैंड अन्तराल में कमी का कारण बताते हैं। अनाकार पदार्थ का तापीय एनीलिंग कांच संक्रमण तापमान से ऊपर किया जाता है, जिससे कंपन ऊर्जा इतनी बढ़ जाती है कि यह कुछ कमजोर बंधनों को तोड़ सकती है और सिस्टम को कुछ स्थानांतरीय गतिशीलता प्रदान कर सकती है। अंततः, नाभिकीय निर्माण और वृद्धि से क्रिस्टलीकरण होता है, जो एनीलिंग तापमान पर निर्भर करता है। एनीलिंग तापमान बढ़ने के साथ-साथ तापीय रूप से परिवर्तित क्रिस्टलीय अवस्था भी बढ़ती है। हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि ये उत्पन्न क्रिस्टलीय अवस्थाएँ ही मुख्य रूप से प्रकाशीय बैंड अन्तराल में कमी के लिए उत्तरदायी हैं। [15]

3. उपसंघार:

हमारे शोध कार्य में $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड्स की 20 नैनोमीटर की पतली फिल्मो निर्माण किया गया और विभिन्न तापमानों पर एनीलिंग प्रभाव द्वारा अक्रिस्टलीय से क्रिस्टलीय अवस्था में परिवर्तन का अध्ययन किया गया। HRXRD और FESEM मापों से पुष्टि होती है कि हमारी तैयार की गई फिल्मों का अनाकार से क्रिस्टलीय अवस्था में परिवर्तित होता है और तापमान बढ़ने पर यह परिवर्तन अधिक स्पष्ट होता है, जो ऊष्मा-संरचनात्मक अवस्था परिवर्तन के कारण होता है। प्रकाशीय अवशोषण माप से संकेत मिलता है कि प्रकाशीय अवशोषण प्रत्यक्ष संक्रमण के कारण होता है। यह पाया गया है कि एनीलिंग तापमान बढ़ने पर प्रकाशीय बैंडगैप सिकुड़ता है, हालांकि, फोटॉन ऊर्जा में वृद्धि के साथ अवशोषण गुणांक बढ़ता हैं। उपरोक्त अध्ययन द्वारा यह निष्कर्ष प्राप्त होता है कि संश्लेषित $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड्स पतली फिल्में अवस्था परिवर्तन स्मृति युक्तियो में उपयोगी सिद्ध हो सकती है।

तालिका-1: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों के प्रकाशीय प्राचल

प्रकाशीय स्थिरांक	***प्रारंभिक अवस्था की पतली फिल्म***	***343 K पर एनीलिंग की गई पतली फिल्म***	***353 K पर एनीलिंग की गई पतली फिल्म***	***363 K पर एनीलिंग की गई पतली फिल्म***
α (10^4) (सेमी$^{-1}$) λ = 480 nm पर	**2.32**	**3.13**	**3.94**	**5.11**
प्रकाशीय बैंड अंतराल (E_g)(eV)	**3.90**	**3.72**	**3.42**	**3.15**

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

[1] Hussain, I. H. (2025). Kinetics of Non Isothermal Crystallization and Optical Studies of Chalcogenide Glasses. Deen Dayal Upadhyay Gorakhpur University.http://hdl.handle.net/10603/689353

[2] Srivastava, A., Khan, Z. H., & Khan, S. A. (2024). Effect of ambient argon pressure on the structural, optical and electrical properties of non-crystalline $Se_{85}Te_3Bi_{12}$ nano-thin films. Journal of Physics D: Applied Physics, 57(9), 95303. https://doi.org/10.1088/1361-6463/ad0ef8

[3] Smith, B. A., Cowlam, N., & Shamah, A. M. (1979). The crystal growth and atomic structure of As_2(Se, S)$_3$ compounds. Philosophical Magazine B, 39(2), 111–132. https://doi.org/10.1080/13642817908246342

[4] Choi, D.-Y., Madden, S., Bulla, D., Wang, R., Rode, A., & Luther-Davies, B. (2010). Thermal annealing of arsenic tri-sulphide thin film and its influence on device performance. Journal of Applied Physics, 107(5), 53106. https://doi.org/10.1063/1.3310803

[5] Khan, I. H., Srivastava, A., Tripathi, R. P., Shaheer Akhtar, M., Khan, Z. M. S. H., & Khan, S. A. (2026). Exploring the amorphous-to-crystalline phase transition in $Se_{80}In_5Te_{15-x}Bi_x$ chalcogenide thin films. Surface Review and Letters, 2650039. https://doi.org/10.1142/S0218625X26500393

[6] Khan, I. H., Srivastava, A., Tripathi, R. P., Zulfequar, M., & Khan, S. A. (2025). Impact of antimony blending on various thermal stability parameters and crystallization dynamics in amorphous $Se_{80}In_5Te_{15-x}Sb_x$ quaternary chalcogenide glasses. Phase Transitions, 98(4–5), 290–306. https://doi.org/10.1080/01411594.2025.2487995

[7] Bhatt, N., Parveen, S., Whab, A., Sulania, I., & Pumlianmunga. (2025). Enhancement in the thermal stability of Sb_2Te_3 film by co-doping of Ge and S for power-efficient phase change memory. Journal of Alloys and Compounds, 1048, 185212. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.185212

[8] Kemparaju, R., Rohit, Prabhudesai, A., Prasanth, S. C., Kumar, M. M., & Ramesh, K. (2025). Electrical switching and phase change properties of GeTe-Al_2Te_3 chalcogenide alloys. Ceramics International, 51(19, Part B), 29046–29054. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.04.110

[9] Shoab, M., Aslam, Z., Khatoon, N. F., Saifi, S., Ali, J., Khan, F., Alomairy, S., & Zulfequar, M. (2024). Investigation of thermal and electrical properties of Sn and Al incorporated Se–Te chalcogenide glasses for phase change memory applications. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 35(36), 2269. https://doi.org/10.1007/s10854-024-14005-1

[10] Saito, Y., Mitrofanov, K. V, Makino, K., Fons, P., Kolobov, A. V, Tominaga, J., Uesugi, F., & Takeguchi, M. (2021). Chalcogenide Materials Engineering for Phase-Change Memory and Future Electronics Applications: From Sb–Te to Bi–Te. Physica Status Solidi (RRL) – Rapid Research Letters, 15(3), 2000414. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pssr.202000414

[11] Chen, Y., Chen, S., Lin, Z., Song, L., Gu, C., Liu, Z., Xu, T., Wang, J.-Q., & Shen, X. (2025). Revealing the crystallization kinetics of melt-quenched GeTe for realistic phase-change memory applications. Journal of Alloys and Compounds, 1010, 178067. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.178067

[12] Srivastava, A., Khan, Z. M. S. H., Khan, Z. H., & Khan, S. A. (2024). Studies of $Se_{85}Te_{12}Bi_3$ and $Se_{85}Te_9Bi_6$ Nanochalcogenide Thin Films at Different Working Pressures. In Z. H. Khan, M. Jackson, & N. A. Salah (Eds.), Recent Advances in Nanomaterials (pp. 133–140). Springer Nature Singapore.

[13] Srivastava, A., Akhtar, M. S., Umar, A., Hashem, M., Alsarani, M. M., Fouad, H., & Khan, S. A. (2023). Comparative Study on Structural and Optical Properties of $Se_{85}Te_6$ Bi_9 Nano-Thin Films Synthesized at Disparate Ambient Argon Pressures. Science of Advanced Materials, 15(1), 10–16. https://doi.org/10.1166/sam.2023.4397

[14] Srivastava, A., Khan, S. A., & Srivastava, A. (2024). Fabrication and Characterization of Silicon Quantum Dots Thin Films for Optoelectronic Applications. SciEngg Advances, 1(4), 124–133. https://doi.org/https://doi.org/10.69626/sea.2024.0124

[15] Khan, S. A., Lal, J. K., & Al-Ghamdi, A. A. (2010). Thermal annealing effect of on optical constants of vacuum evaporated $Se_{75}S_{25-x}Cd_x$ chalcogenide thin films. Optics & Laser Technology, 42(5), 839–844. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2009.12.013