एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब (प्रिस्टिन और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड) का वातावरण प्रदूषण गैसों के लिए संवेदक के रूप में प्रयोगात्मक अध्ययन

Experimental Study of Pristine and SnO_2 functionalized Single Walled Carbon Nanotubes as gas sensors for Environmental hazardous gases

रचना कुमार[1], सीमा गुप्ता[2] अंकुर आनंद[3], नीरू[4]
Rachana Kumar[1], Seema Gupta[2], Ankur Anand[3], Neeru[4]
[1, 2] Associate Professor, Department of Physics, Kalindi College, University of Delhi
[3] Assistant Professor, Department of Physics, Kalindi College, University of Delhi
[4] Centre for Nanoscience and Technology, Jamia Millia Islamia, Delhi,
Solid State physics laboratory, DRDO, Delhi
Corresponding Author : [2] Seemagupta@kalindi.du.ac.in
[1] rachnakumar@kalindi.du.ac.in, [3] ankuranand@kaindi.du.ac.in

सारांश

प्रस्तुत शोध का उद्देश्य टिन ऑक्साइड (SnO_2) फंक्शनलईजेशन (functionalization) द्वारा एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब (single walled carbon nanotube, एसडब्ल्यूएनटी) की संवेदन क्षमता (responsivity) में सुधार का अध्ययन करना है। इस उद्देश्य की प्राप्ति के लिए नाइट्रोजन डाई ऑक्साइड और अमोनिया दोनों गैसों के 0.5 पीपीएम से 20 पीपीएम सांद्रता (concentration) के क्रमवार एक्सपोजर द्वारा प्रिस्टिन (Pristine) और SnO_2 फंक्शनलाइज्ड एसडब्ल्यूएनटी की संवेदन प्रतिक्रिया का प्रयोगात्मक रूप से अध्ययन किया गया है। 30 पीपीबी की पहचान सीमा (detection limit) के साथ, गैस की एक निश्चित सांद्रता के संपर्क में सेंसर का प्रतिरोध परिवर्तन (resistance change) प्रति सेकंड दर्ज किया गया। चरम प्रतिक्रिया (peak response) प्राप्त करने के बाद, यूवी/आईआर (UV/IR) के संपर्क में लाकर इसे बेसलाइन पर वापस लाया गया। यह स्पष्ट रूप से देखा गया कि टिन ऑक्साइड सतह संशोधन एसडब्ल्यूएनटी सेंसर की संवेदनशीलता को बेहतर बनाने का काम करता है। देखी गई वृद्धि नैनो हेट्रोजंक्शन के गठन और बेहतर सतह क्षेत्र के माध्यम से प्राप्त हुई मानी जा सकती है। टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी में नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस पर किये गए प्रयोगों में प्रिस्टिन की तुलना में रिकवरी टाइम (recovery time) कम पाया गया जो कि उसे एक कुशल गैस सेंसर के रूप में दर्शाता है। इसके साथ ही यह अध्ययन, गैसों की पृथकता (differential response) की जानकारी के लिए एसडब्ल्यूएनटी गैस सेंसर की उपयोगिता भी प्रस्तुत करता है। जैसा कि प्रतिरोध प्रतिक्रिया के बढ़ने (NH_3, रिडूसिंग गैस) और कम होने (ऑक्सीकारक NO_2 गैस) द्वारा दर्शाया गया है। संवेदनशील गैस सेंसर द्वारा रिसाव, उद्योग या प्रयोगशाला परिवेश में हानिकारक गैसों की सांद्रता में अचानक उछाल को रिकॉर्ड किया जा सकता है और इस प्रकार निवारक समय पर बचाव के उपाय किए जा सकते हैं।

ABSTRACT

The present research aims to improve the detection of environment prevalent gases NO_2 and NH_3 by functionalization of single walled carbon nanotubes (SWNT). The response of pristine

and SnO_2 functionalized SWNT has been experimentally studied by step wise exposure of 0.5 ppm to 20 ppm of NO_2 and NH_3 gases. With a detection limit of 30 ppb, the sensor was exposed to a certain concentration of the gas and resistance changes were recorded per second. After achieving peak response, it was recovered to baseline by exposure to UV/IR. It has been categorically observed that SnO_2 functionalization serves to improve the sensor response. This observed increase can be attributed to formation of nano hetrojunctions and improved surface area. Recovery time was seen to be markedly reduced for functionalized SWNT exposed to NO_2 and hence enhances its application in ambient enviormnment. This work highlights the importance of surface decoration of SWNT in improving its morphology and adsorption capacity. This also presents the use of SWNT to differentiate gases as represented by increasing resistance response (for reducing gases like NH_3) and decreasing resistance response (for oxidizing gas like NO_2). The work can find potential applications in areas prone to sudden upsurge in hazardous gas concentration like leakage, industry or laboratory ambience. An efficient detection of changed concentration can be recorded and preventive timely measures may be thus taken.

मुख्य शब्दः एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब, प्रिस्टिन और फंक्शनलाइज़्ड नैनोट्यूब, गैस संवेदक, संवेदनशीलता, वातावरण में हानिकारक गैसें

Key words: Single walled Carbon nanotubes, Pristine and Functionalized nanotubes, gas sensor, Responsivity, Environmental hazardous gases

परिचय

कार्बन नैनोट्यूब का अधिक सतह–आयतन अनुपात (surface to volume ratio) और खोखली नैनो संरचना, गैस के सोखने और भंडारण के लिए आदर्श है (1–2)। इनकी उच्च संवेदनशीलता और कम ऑपरेटिव तापमान गैस संवेदक के रूप में इनकी उपयोगिता दर्ज कराता है। नैनोट्यूब के इलेक्ट्रॉनिक गुण उनके रासायनिक वातावरण के प्रति अत्यंत संवेदनशील होते हैं (3)। गैस के संपर्क में आने पर गैस कणों और कार्बन नैनोट्यूब के बीच आवेश (charge) के स्थानांतरण (transfer)होने की वजह से इलेक्ट्रॉनिक गुणों में बदलाव आता है जिसकी वजह से वह गैस संवेदक के रूप में प्रयोग किए जाते हैं। पिछले कुछ दशकों से वैज्ञानिक एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब (SWNT) और बहु दीवार कार्बन नैनोट्यूब (MWCNT) व उनके परिवर्तित रूपों का गैस संवेदक के रूप में अध्ययन कर रहे हैं (4)।

कोरोना काल में फेफड़ों का स्वास्थ्य एक बहुत ही महत्वपूर्ण विषय है। वातावरण में मौजूद गैसें जैसे कार्बन मोनो ऑक्साइड, नाइट्रोजन डाई ऑक्साइड, अमोनिया, सल्फर डाई ऑक्साइड (CO, NO_2, NH_3, SO_2) सीमा रेखा से अधिक मात्रा में होने पर फेफड़ों पर विपरीत और आपत्तिजनक असर डालती हैं। अनुसंधान प्रमाणों के आधार पर नाइट्रोजन डाई ऑक्साइड गैस की सांद्रता 1.5 पीपीएम – 2 पीपीएम अगर एक स्वस्थ इंसान लंबी अवधि तक ग्रहण करता है तो उसको श्वसन स्वास्थ्य संबंधी बीमारियां हो सकती हैं। सीमित मात्रा में अमोनिया गैस की मनुष्य को आवश्यकता होती है। औद्योगिक इकाइयों में, कचरे के ढेर, उर्वरक के आसपास, उत्सर्जन बहुलता क्षेत्रों में नाइट्रोजन डाई ऑक्साइड और अमोनिया की सांद्रता हानिकारक सीमा में पहुंच सकती हैं। वातावरण में इन गैसों की सांद्रता एकाएक बढ़ने पर कार्बन नैनोट्यूब को गैस संवेदक के रूप में प्रयोग कर सकते हैं।

प्रस्तुत शोध लेख, प्रिस्टिन एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड कार्बन नैनोट्यूब की गैस मापने की क्षमता का अध्ययन करता है। रासायनिक विधि से तैयार की गई नैनोट्यूब सतह का विश्लेषण एक्स आर डी (XRD) व रमन स्पेक्ट्रा द्वारा किया गया। प्रिस्टिन एसडब्ल्यूएनटी

और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी को नाइट्रोजन डाई ऑक्साइड और अमोनिया गैसों के संपर्क में लाकर गैस रिस्पांस का आकलन किया गया है। दोनों परिस्थितिओं में प्राप्त गैस रिस्पांस का विस्तृत तुलनात्मक विश्लेषण और रिकवरी टाइम का अध्ययन प्रस्तुत किया गया है।

साहित्य सर्वेक्षण

बाई एट अल (Hua Bai et al, 5) के शोध सर्वेक्षण में चर्चा की गई है कि पॉलीमर, सेमीकंडक्टर व मेटल ऑक्साइड पर आधारित गैस सेंसर अंतरिक्ष और वातावरण निगरानी के क्षेत्र में बहुत ही उपयोगी सिद्ध हुए हैं। एक गैस संवेदक के लिए उच्च संवेदनशीलता और स्थिर प्रदर्शन वांछनीय विशेषताएँ हैं (1–3)। वैज्ञानिक इन्हीं विशेषताओं को ध्यान में रखकर कमरे के तापमान में कार्य करने वाले नैनो प्रौद्योगिकी पर आधारित कार्बन नैनोट्यूब गैस सेंसरों पर निरंतर शोध कर रहे हैं (4)। इनकी पोरस संरचना और रासायनिक रूप से निष्क्रिय सतह गैस सोखने के लिए उपयुक्त है। कार्बन नैनोट्यूब, एकल दीवार और बहुदीवार दोनों संरचना में पाए जातें हैं (1–3)। बहुदीवार कार्बन नैनोट्यूब की बहुपरत संरचना के कारण गैस एडसोर्ब करने की क्रिया अत्यधिक जटिल है, अतः ज्यादातर शोधों में एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब को प्राथमिकता दी गई है (4)।

झांग एट अल (Zhang et al, 6) के शोध पत्र में बताया गया कि गैस सेंसर जब निर्धारित गैसों के संपर्क में आते हैं तो इनकी डेंसिटी ऑफ़ स्टेट्स (Density of States), थर्मोपॉवर और प्रतिरोध में परिवर्तन आता है। आमतौर पर एसडब्ल्यूएनटी के लिए, गैसों की बाइंडिंग एनर्जी अधिक होने के कारण, वे सतह से धीरे डिसॉर्ब होती हैं। फंक्शनलईजेशन से कार्बन नैनोट्यूब की बाइंडिंग एनर्जी पर सकारात्मक प्रभाव की वजह से उनकी प्रतिरोध क्षमता में सुधार पाया गया है। आरौशनियन (Aroutiounian, 7) के शोध अध्ययन में आर्गेनिक पदार्थ जैसे कि पोलीएथीलीन, धातु नैनो कणों जैसे पैलेडियम, गोल्ड और निकल (Pd, Au, Ni) तथा मेटल ऑक्साइड द्वारा कार्बन नैनोट्यूब को फंक्शनलाइज़्ड किये जाने की चर्चा की गयी है। झांग एट अल (Zhang et al, 6) द्वारा किये गए अध्ययन में –OH–, –COOH– से सतह को हाइड्रोफिलिक बनाया गया, जिससे कम आणविक वजन वाली गैसों के आडसोर्प्शन के लिए भी वे उपयुक्त हों। ह्युन्जु एट अल (Hyunju et al, 8) और एलिसों एट अल (Ellison et al, 9) के शोध पत्रों में अमोनिया और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैसों के संवेदन के लिए कार्बन नैनोट्यूब पर गैस सेंसर के रूप में शोध को विस्तार से प्रस्तुत किया गया है। क्सु एट अल (Xu et al, 10) और अपेक्षा एट अल (Apeksha et al, 11) के कार्यों में विभिन्न परिस्थितियों में इन गैसों का वांछनीय सांद्रता से ऊपर बढ़ना और उनके हानिकारक प्रभाव बताये गए हैं। ह्युन्जु एट अल (Hyunju et al, 8) के शोध में फंक्शनलाइज़्ड कार्बन नैनोट्यूब पर अमोनिया और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैसों के फिजिअबसोर्प्शन (physisorption) को दर्शाया गया है। कंचनातिप एट अल (Kanchanatip et al,12) के शोध में प्रस्तुत किया गया है ये गैसें एकल नैनोट्यूब के गठनों में मौजूद नैनोट्यूब बंडलों के साथ क्रियाशीलता दिखाती हैं।

जैसा ज्ञात है कि फंक्शनलईजेशन की क्रिया और संवेदकों पर प्रभाव का निष्कर्ष एक जटिल विषय है, अतः निरंतर किये जाने वाले प्रयोगों द्वारा इसे समझने में मदद हासिल हो सकती है। हमारे शोध में प्रिस्टिन और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी संवेदकों की गैस संवेदनशीलता का तुलनात्मक अध्ययन कर कार्यप्रणाली का विश्लेषण किया गया है।

प्रयोगात्मक विवरण

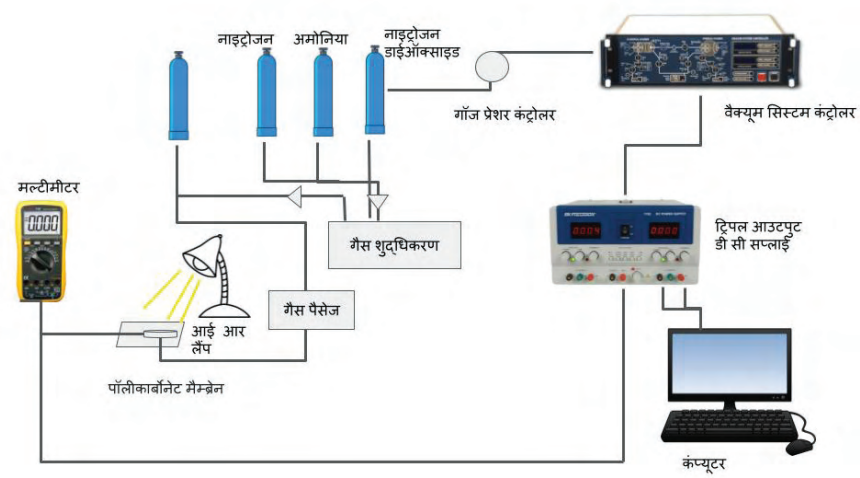
प्रिसटीन एसडब्ल्यूएनटी प्राप्त करने के लिए, पूर्वोक्त विधि (13) के अनुसार कार्बन सॉल्यूशन आई एन सी (Carbon Solutions Inc., USA) के पाउडर का उपयोग किया गया। 0.5 मि. ग्राम पाउडर को

100 मि.लीटर डाइमिथाइल फोर्मामाइड (DMF) में घोला गया और इसे दो घंटे के लिए अल्ट्रा सोनिकेट किया गया।

टिन क्लोराइड सोल्युशन ($SnCl_2$-$2H_2O$) को अमोनिया से रिड्यूस करके नैनोकणों को प्राप्त किया गया। टिन ऑक्साइड नैनो कणों (0.2 मि. ग्राम) को घोल में सस्पेंड हुई एसडब्ल्यूएनटी (20–32 नैनो मीटर Diameter) से रासायनिक विधि द्वारा जोड़ा गया। इसके बाद इसका वैक्यूम फिल्ट्रेशन करके इसे पॉलीकार्बोनेट मेम्ब्रेन (पोर साईज़ =0.2 माइक्रो मीटर) के ऊपर फैलाया गया। प्राप्त सतह की संरचना का विधिवत आकलन रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी (HoribaJovinYvon micro Raman spectrophotometer) व एक्स आर डी (XRD) द्वारा किया गया। एक्स –रेज़ (Cu-Kα, वेव लेंथ = 1.54 Å) के द्वारा स्कैटरिंग एंगल $2\theta = 10–70^0$ के लिए पाउडर डिफ्रैक्शन स्पेक्ट्रा लिया गया।

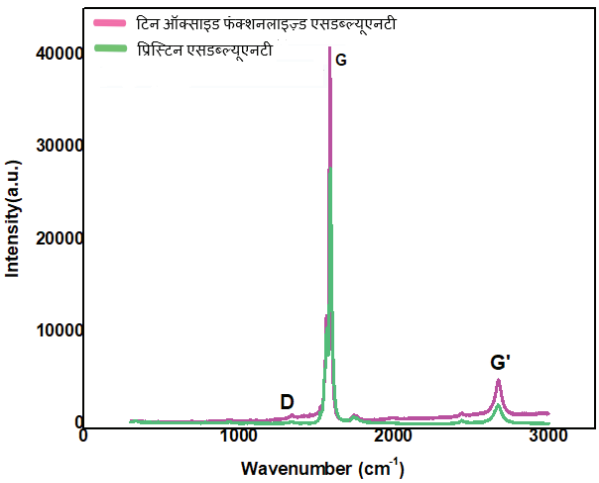
एसडब्ल्यूएनटी गैस सेंसर को 400^0 डिग्री सेल्सियस पर 10 मिनट के लिए गर्म किया गया। इलेक्ट्रॉनिक पैड और TO-5 हैडर लेग सोने के तार द्वारा संपर्क बनाए गए। नाइट्रोजन गैस का वातावरण निरंतर बनाने के लिए गैस सेंसर को गैस कक्ष के अंदर रखा गया और सारे अध्ययन इसी बंद उपकरण में किए गए। सभी प्रयोग कमरे के तापमान (25^0C) और सापेक्षिक आद्रता (Relative Humidity) (40–48%) पर किए गए। सेंसर के प्रतिरोध में बदलाव को देखने के लिए मल्टीमीटर (fluke – 289) जोकि बहुत संवेदनशील है, इस्तेमाल किया गया। प्रयोग किये गए उपकरणों की व्यवस्था चित्र 1 में दिखाई गयी है।

गैस सेंसर को पीसीबी (PCB) हैडर पर लगा कर गैस चैम्बर में रखा गया और उसके बाद प्रयोगात्मक गैसों को उसके संपर्क में लाया गया। सबसे पहले सेंसर को नाइट्रोजन (N_2) गैस के संपर्क में लाकर प्रतिरोध को नापा गया। उसके बाद विभिन्न सांद्रता (0.5 पीपीएम –20 पीपीएम) की अमोनिया और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैसों के संपर्क में लाया गया। गैस प्रवाह को प्रवाह नियंत्रक (mass flow controller) द्वारा नियंत्रित किया गया। नाइट्रोजन डाइऑक्साइड और अमोनिया गैसों के संपर्क के बाद सेंसर को बेसलाइन पर वापस लाने के लिए क्रमशः यूवी/आईआर लैंप का प्रयोग किया गया। गैस प्रतिरोध 1.4565 कि. ओम (k-ohms)–2.0863 कि. ओम के बीच पाया गया। पूर्व शोधपत्र (14) में दिए सूत्र के अनुसार गैस डिटेक्शन लिमिट की गणना की गयी जोकि 30 पीपीबी पायी गयी।

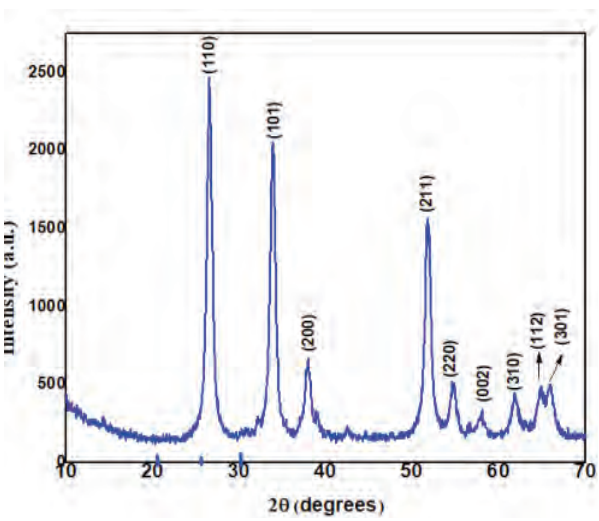


चित्र 1: प्रस्तुत शोध कार्य में उपयोगित प्रयोगात्मक स्थापना

परिणाम और चर्चा



चित्र 2: प्रिस्टिन एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड कार्बन नैनोट्यूब का रमन स्पेक्ट्रा



चित्र 3: टिन ऑक्साइड नैनोकणों का एक्स आर डी (XRD) पैटर्न

टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी की संरचना की विशेषता की जानकारी के लिए रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी का उपयोग किया गया। चित्र 2 में दिखाए गए रमन स्पेक्ट्रम में फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी में प्रिस्टिन की तुलना में I_D / I_G अनुपात का 0.015 से 0.072 बढ़ना (1570cm^{-1} व 2800 cm^{-1} पर प्राप्त पीक का उपयोग गणना के लिए किया गया है),

कार्बन नैनोट्यूब पर टिन ऑक्साइड के फंक्शनलईजेशन की क्रिया को दर्शाता है।

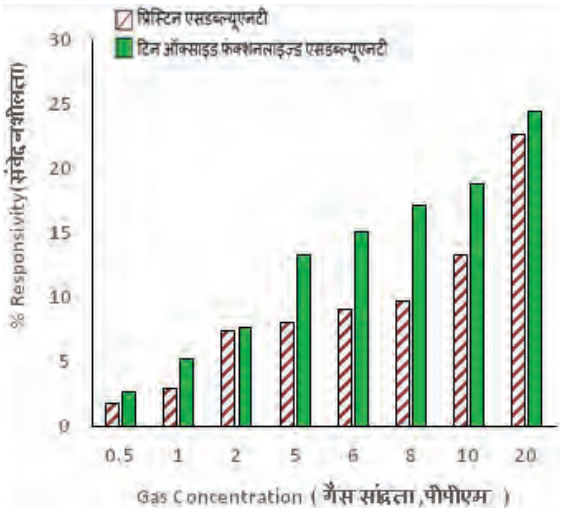
चित्र 3 में टिन ऑक्साइड के नैनो कणों का एक्स आर डी (XRD) पैटर्न दिखाया गया है, जिससे टिन ऑक्साइड के नैनो कणों का आकार 20 –30 नैनो मीटर (nm) मापा गया।

प्रस्तुत शोध में प्रिस्टिन और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी को अमोनिया और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैसों की क्रमवार सांद्रता 0.5 पीपीएम–20 पीपीएम के संपर्क में लाया गया और संवेदनशीलता का आकलन किया गया। प्रतिशत संवेदनशीलता निकालने के लिए नीचे लिखे सूत्र का प्रयोग किया गया

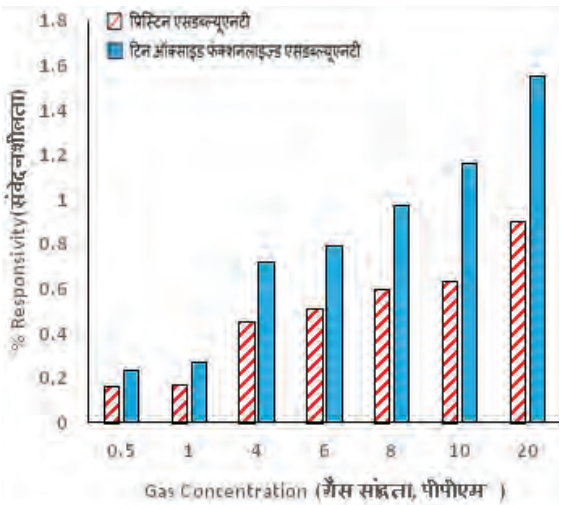
$$\% \text{ संवेदनशीलता} = \frac{(R_{gas} - R_0)}{R_0} \times 100\%$$

सूत्र में R_{gas} प्रयोगात्मक गैस की उपस्थिति में संवेदक की प्रतिरोध क्षमता है व R_0 गैस की अनुपस्थिति में प्रतिरोध क्षमता है। प्रयोगों से प्राप्त आधार सामग्री के अनुसार, प्रिस्टिन और फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी की परसेंटेज संवेदनशीलता को बार डायग्राम के द्वारा नाइट्रोजन डाइऑक्साइड (चित्र 4) और अमोनिया (चित्र 5) गैसों की विभिन्न सांद्रता के लिए दर्शाया गया है।

दोनों ही चित्रों में फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी प्रिस्टिन के अनुपात में ज्यादा संवेदनशील है।

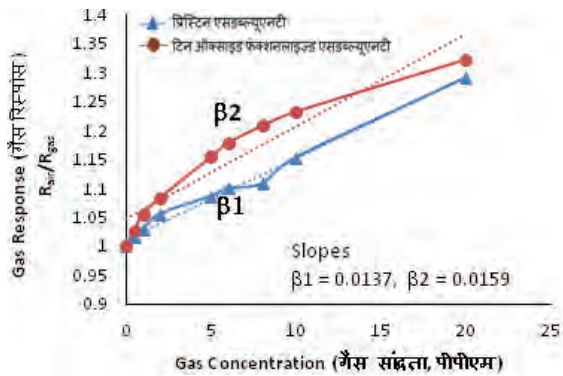


चित्र 4: नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस सांद्रता परिवर्तन के साथ संवेदक की प्रतिशत संवेदनशीलता

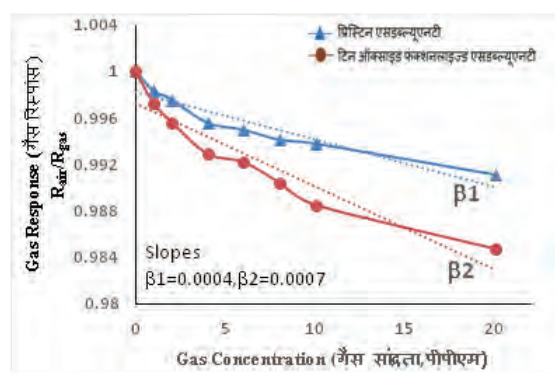


चित्र 5: अमोनिया गैस सांद्रता परिवर्तन के साथ संवेदक की प्रतिशत संवेदनशीलता

चित्र 6 में प्रिस्टिन और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी की गैस रिस्पांस R_{air}/R_{gas} को नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस सांद्रता के साथ प्रदर्शित किया गया है। बेस्ट फिट लाइन बनाकर दोनों सेंसरों के लिए स्लोप का आकलन किया गया। नाइट्रोजन डाइऑक्साइड ऑक्सीकारक (oxidising) गैस है। यह गैस संपर्क में आए एसडब्ल्यूएनटी से आवेशों को निकाल कर उसकी प्रतिरोधक क्षमता को कम करती है व R_{air}/R_{gas} में लगातार वृद्धि प्रदर्शित होती है। फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी (β2=0.0159), प्रिस्टिन की तुलना में ज्यादा स्लोप (β1=0.0137) दिखाते हैं।



चित्र 6: नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस सांद्रता परिवर्तन व गैस रिस्पांस R_{air}/R_{gas}

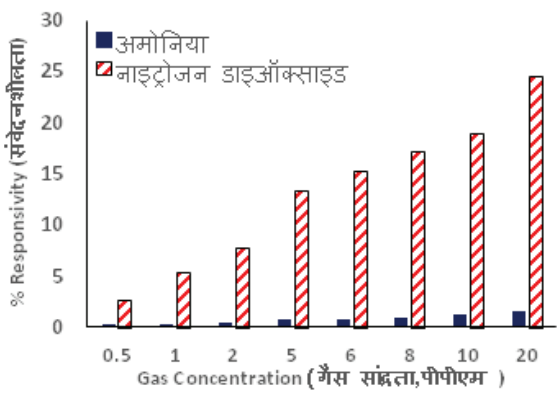


चित्र 7: अमोनिया गैस सांद्रता परिवर्तन व गैस रिस्पांस R_{air}/R_{gas}

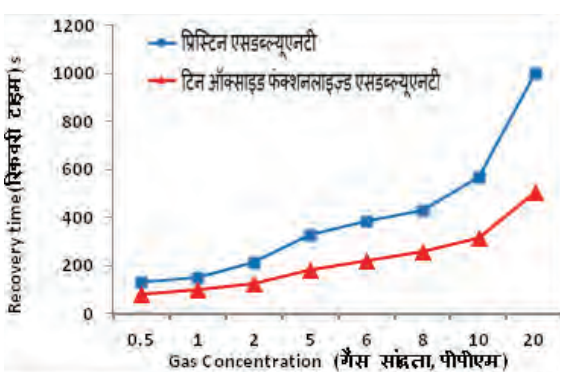
चित्र 7 में प्रिस्टिन और फंक्शनलिज़्ड एसडब्ल्यूएनटी की गैस रिस्पांस R_{air}/R_{gas} को अमोनिया गैस सांद्रता के साथ प्रदर्शित किया गया है। अमोनिया एक रेडूसिंग (reducing) गैस है। यह एसडब्ल्यूएनटी को आवेश दान करके उसकी प्रतिरोध

क्षमता को बढ़ा देती है, जिसके परिणाम स्वरुप R_{air}/R_{gas} में लगातार कमी दिखाई पड़ती है। बेस्ट फिट लाइन के अनुसार फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी ($\beta 2=0.0007$) की स्लोप वैल्यू प्रिस्टिन ($\beta 1=0.0004$) की तुलना में एक बार फिर से ज्यादा है।

फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी में अमोनिया और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड दोनों गैसों के लिए प्रिस्टिन की तुलना में अधिक स्लोप का मिलना प्रमाणित करता है कि टिन ऑक्साइड फंक्शनलिज़शन से कार्बन नैनोट्यूब की सतह वृद्धि व नैनो हेट्रोजंक्शन के गठन के कारण गैस एडसोर्ब करने की क्षमता में वृद्धि हुई है।



चित्र 8: गैसों की सांद्रता व टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी संवेदक की % संवेदनशीलता



चित्र 9: नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस सांद्रता व रिकवरी टाइम

चित्र 8 में दिखाए गए बार–डायग्राम में फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी पर अमोनिया और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैसों के प्रति % संवेदनशीलता की तुलना दिखाई गई है। इस आरेख से प्रमाणित होता है कि फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी अमोनिया गैस की तुलना में नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस के लिए ज्यादा संवेदनशील है।

चित्र 9 में नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस के लिए गैस सांद्रता व रिकवरी टाइम आलेख प्रिस्टिन और फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी दोनों के लिए दिखाया गया है। प्रत्येक सांद्रता पर फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी में प्रिस्टिन की तुलना में कम रिकवरी टाइम पाया गया। हालांकि अमोनिया गैस के लिए इस प्रकार का रुझान नहीं मिला।

निष्कर्ष

हमारे अनुसंधान में प्रयोगों द्वारा प्रिस्टिन और टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब पर अमोनिया और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैसों की संवेदनशीलता का अध्ययन व तुलना की गई है। टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी प्रिस्टिन की तुलना में ज्यादा संवेदनशील पाए गए हैं। ये गैसों की कम सांद्रता (0.5 पीपीएम) और अधिक सांद्रता (20 पीपीएम) दोनों के लिए प्रिस्टिन की तुलना में बेहतर गैस सेंसर के रूप में प्रतिष्ठित होते हैं।

फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी के लिए R_{air}/R_{gas} व गैसों की सांद्रता ग्राफ में प्रिस्टिन की तुलना में अधिक स्लोप का मिलना भी इसी बात को प्रमाणित करता है कि संवेदक में सतह वृद्धि व सतह संशोधन हुआ है। प्रयोगों से प्राप्त हुए डाटा के अनुसार नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस के लिए फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी में प्रिस्टिन की तुलना में संवेदन शीलता की अधिकतम बढ़ोतरी 7.46% है, जबकि अमोनिया गैस के लिए अधिकतम बढ़ोतरी 0.65% है। प्रतिरोध क्षमता का कम होना (नाइट्रोजन

डाइऑक्साइड गैस के संपर्क में) या बढ़ना (अमोनिया गैस के संपर्क में) तथा % संवेदनशीलता का अनुपात, एसडब्ल्यूएनटी गैस सेंसर की विभिन्न गैसों को पृथक करने के साधन के रूप में उपयोगिता को भी दर्शाता है।

प्रस्तुत शोध कार्य से यह भी प्रमाणित होता है कि फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी अमोनिया गैस की तुलना में नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस के लिए अधिक संवेदनशील है। अमोनिया गैस की अधिक सांद्रता (>17 पीपीएम) वातावरण में उत्पन्न गंध से भी कुछ हद तक अनुमानित की जा सकती है, जबकि नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस की अधिक सांद्रता का अनुमान करना मुश्किल है। फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी, नाइट्रोजन डाइऑक्साइड गैस की कम से अधिक प्रत्येक सांद्रता के लिए बहुत ही संवेदनशील और उपयोगी गैस सेंसर है। प्रिस्टिन की तुलना में फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी का रिकवरी टाइम कम होना भी फंक्शनलईजेशन द्वारा सतह की बेहतरी को इंगित करता है। प्रयोगशाला के नियंत्रित वातावरण में रिकवरी टाइम सरलता से कम किया जा सकता है जबकि बाहर के वातावरण में रिकवरी टाइम का सहज़ रूप से कम होना फंक्शनलाइज़्ड गैस सेंसर की उपयोगिता बढ़ाता है।

नैनो हेट्रो जंक्शन के गठन की वजह से फंक्शनलाइज़्ड सेंसर की गैस एडसोर्ब करने की क्षमता में भी बढ़ोतरी हुई है। फंक्शनलईजेशन से हुआ सतह संशोधन कार्बन नैनोट्यूब के वर्क फंक्शन (पोटेंशियल बैरियर की ऊंचाई) में भी बदलाव लाता है। इन्हीं सब संबंधित क्रियाओं के फलस्वरूप टिन ऑक्साइड फंक्शनलाइज़्ड एसडब्ल्यूएनटी गैस सेंसर की संवेदनशीलता में बेहतरी देखी गई। आडसोर्प्शन की जटिल प्रक्रिया को विभिन्न सैद्धांतिक मॉडलों (Adsorption isotherms) (15) द्वारा विस्तार से समझना भविष्य के शोध का विषय है।

तकनीकी शब्दों की तालिका

charges	आवेशों
Comparative	तुलनात्मक
Concentraion	सांद्रता
Detection limit	डिटेक्शन लिमिट
differentiation	पृथकता
Experimental	प्रयोगात्मक
Functionalization	फंक्शनलईजेशन
Multi walled carbon nanotube	बहु दीवार कार्बन नैनोट्यूब
Nano Hetero junctions	नैनो हेट्रो जंक्शन
Polycarbonate membrane	पॉलीकार्बोनेट मेम्ब्रेन
Pristine single walled carbon nanotube	प्रिस्टिन एकल दीवार कार्बन नैनोट्यूब
Raman spectrum	रमन स्पेक्ट्रा
Reducing	रेडूसिंग
Relative Humidity	सापेक्षिक आद्रता
Resistance	प्रतिरोध
Response	प्रतिक्रिया
Sensitivity	संवेदनशीलता
Surface improvement	सतह संशोधन
Vacuum filtration	वैक्यूम फिल्ट्रेशन

आभार

प्रस्तुत शोध–पत्र के लेखक, डॉ. सीमा विनायक (निर्देशक एसएसपीएल) और डॉ. पिका झा (वैज्ञानिक जी, एसएसपीएल, डीआरडीओ) को नैनो टेक्नोलॉजी ग्रुप, सॉलिड स्टेट फिजिक्स लेबोरेटरी, डीआरडीओ में प्रायोगिक सुविधाओं तक पहुंच की अनुमति देने के लिए धन्यवाद देते हैं।

संदर्भ सूचीः

[1] YunWang and John T. W. Yeow**.** *Review Article: "*A Review of Carbon Nanotubes-Based Gas Sensors". Journal of Sensors, Article ID 493904, doi:10.1155/2009/493904, pp 1-24, 2009.

[2] T Zhang, S Mubeen, N. V Myung and M.A Deshusses "Recent progress in carbon nano tube based gas sensors", Nanotechnology, Volume 19, Issue *33,* pp 1-14, 2008

[3] Alexander G. Bannov, Maxim V. Popov et.al, Review "Recent advances in ammonia gas sensors based on Carbon nanomaterials". Micromachines, Volume 12, Issue 186, pp 1-30, 2021

[4] Luca Camilli 1, Maurizio Passacantando. "Advances in Sensors Based on Carbon Nanotubes". Chemosensors, volume 6, Issue 4, pp. 62-78, 2018

[5] Hua Bai, Gaoquan Shi. "Gas Sensors Based on Conducting Polymers", Sensors, Volume 7, Issue 3 , https://doi.org/10.3390/s7030267, pp 267-307, 2007

[6] Zhang, X., Cui, H., Gui, Y. *et al.* "Mechanism and Application of Carbon Nanotube Sensors in SF_6 Decomposed Production Detection: a Review". *Nanoscale Res Lett*., Volume 12**,** https://doi.org/10.1186/s11671-017-1945-8, pp 1-12, 2017

[7] V. M. Aroutiounian. "Gas Sensors Based on Functionalized Carbon Nanotubes", Journal of Contemporary Physics, Armenian Academy of Sciences, Volume 50, No. 4, pp. 333–354, 2015

[8] Hyunju Chang and Jae Do Lee. "Adsorption of NH_3 and NO_2 molecules on carbon nanotubes", Applied Physics Letters, Volume 79, Issue 23, pp. 3863-3865, 2001

[9] Mark D. Ellison, Michael J. Crotty, Dukho Koh, Ryan L. Spray, and Kaitlin E. Tate. "Adsorption of NH_3 and NO_2 on Single-Walled Carbon Nanotubes*",* J. Phys. *Chem. B*, volume 108, Issue 23, pp 7938–7943, 2004

[10] Xu R, Tian H, Pan S, Prior SA, Feng Y, Batchelor WD, Chen J, Yang J.Glob Chang. "Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process-based estimates and uncertainty", Global Chang Biol, Volume 25, Issue 1, pp.314-326, 2019

[11] Apeksha Aggarwal, Durga Toshniwal. "Detection of anomalous nitrogen dioxide (NO_2) concentration in urban air of India using proximity and clustering methods", Journal of the Air and Waste management Association, Volume 69, Issue7, pp 805-822, 2019

[12] E.Kanchanatip, S.Tulaphol , Walter Den, Nurak Grisdanurak, Hsin-Yuan Miao, Mi Yan."Sensing and Adsorption study of Gaseous phase Chlorophenols on functionalized Carbon Nano Tube Membranes", http://doi.org/10.1002/ep.13038, Vol 38, Issue S1, pp S315-S322, 2018

[13] Deepak Kumar, Ishita Kumar, Poornendu Chaturvedi Abhilasha Chouksey, R.P.Tandon, P.K.Chaudhury. "Study of simultaneous reversible and irreversible adsorption on single-walled carbon nanotube gas sensor", Material Chemistry and Physics, Vol 177, pp.276-282, 2016

[14] D. Kumar, P. Chaturvedi, P. Saho, P. Jha, A. Chouksey, M. Lal, J. Rawat, R.P. Tandon, P.K. Chaudhury. "Effect of single wall carbon nanotube networks on gas sensor response and detection limit", Sensors and Actuators B, volume 240, pp. 1134–1140, 2017

[15] Seema Gupta, Ankur Anand, Neeru, Rachana Kumar. "Study of adsorption kinetics of pristine and SnO2 functionalized carbon nanotubes as environment gas sensors for NO_2 and NH_3 gases",Materials Today Proceedings, doi 10.1016/j.matpr.2021.04.546, 2021