

MAQNETRON ÇÖKDÜRÜLMƏ ÜSULU İLƏ ALINMIŞ İNDIUM QALAY OKSİD (ITO) TƏBƏQƏSİNİN ELEKTROFİZİKİ VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ

Ə.Ə. RƏCƏBLİ

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu

Azərbaycan, Bakı 1073, Hüseyn Cavid pr. 131

rajabli.alovsat@mail.ru

Şəffaf keçirici oksidlər (ŞKO) sinfinə aid olan İndium Qalay Oksid (ITO) təbəqəsi maqnetron çökdürülmə üsulu ilə alınmışdır. Bunun üçün indium oksid (In_2O_3) və qalay oksid (SnO_2) qarışığından ibarət keramik nümunələr istifadə olunmuşdur. Alınmış Şüşə/ITO strukturunda yükdaşıyıcılarının yüklüklüyünün onların konsentrasiyasından asılılığı, materialın müqaviməti kimi elektrofiziki xassələri və təbəqə üçün keçiriciliyinin, işıq şüasının əks olunmasının və udulmasının fotonun enerjisindən asılılığı kimi optik xassələri tədqiq edilmişdir. Alınan nəticələrin izahı verilmişdir.

Açar sözlər: Şəffaf keçirici oksidlər, indium oksid, qalay oksid, İndium Qalay Oksid (ITO), maqnetron çökdürülmə

Giriş

Şəffaf keçirici oksidlər (ŞKO) görünən və yaxın infraqırmızı spektral diapazonda yüksək optik qəbul edicilik və yüksək elektrik keçiricilik kimi zahirən ziddiyətli görünən iki xüsusiyyəti özündə saxlayan materiallar sinfidir. ŞKO materialların bu iki əsas xüsusiyyətə malik olmaları onları şəffaf nazik təbəqəli elektrodlar üçün nazik təbəqəli günəş elementlərində şəffaf elektrodlar qismində istifadə etməyə imkan yaradır. İndium Qalay Oksid (ITO) də ən geniş istifadə edilən ŞKO materialıdır, çünki ən yüksək keçiriciliyə ($\sigma \approx 10^4 \text{Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$) malikdir və aşağı temperaturlarda (hətta otaq temperaturunda) çökdürülə bilər. Yüksək elektrik keçiriciliyi və görünən spektral diapazonunda yüksək udulma əmsalı, sabitlik xüsusiyyətlərinə görə, onlar şəffaf elektrodlardan biri hesab olunur [1-3]. Lakin, verilmiş parametrlə, mükəmməl strukturlu nazik təbəqəli İTO-nun alınması, fiziki xüsusiyyətləri ilə, həmçinin həcmi boyu bircinsliliyi ilə, strukturun və xassələrinin həm çökdürülmə şərtlərindən, həm də təbəqələrin sonrakı emalından güclü şəkildə asılı olması səbəbindən mürəkkəb texnoloji problem yaradır [4].

Bu tədqiqat işi lazım olan parametrlə nazik təbəqənin alınma mexanizmi və alınmış təbəqənin elektrofiziki və optik xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Eksperiment

Maqnetron çökdürülmə, ITO (indium qalay oksidi) kimi nazik təbəqələrin çökdürülməsi üçün geniş istifadə olunan bir üsuldur. Bu üsul, həm effektiv, həm də geniş səthlərə çökdürmə imkanı verir.

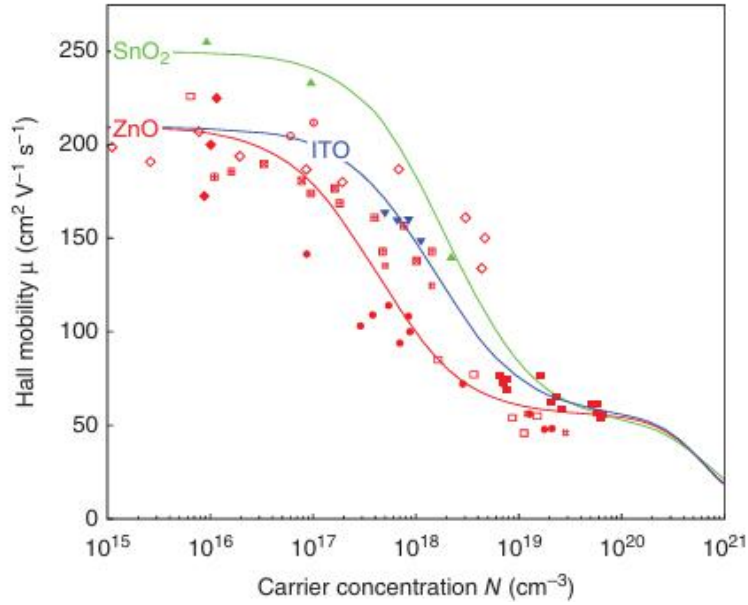
Çökdürülmə Z-550 Leybold-Heraouz qurğusunda vakuum kamerasında arqon və oksigen qarışığı olan mühitdə aparılmışdır. Əvvəlcədən kimyəvi təmizlənmiş 3×5 cm ölçüdə şüşə lövhənin vakuum kamerasında arqonun maqnetron boşalmasında ion təmizlənməsi aparılmışdır. İon təmizləmə 500Vt güclü yüksək tezlikli qaz boşalması, 4 dəqiqə ərzində aparılmışdır. ITO təbəqələrinin maqnetron çökdürülməsi üçün indium oksid (In_2O_3) və qalay oksid (SnO_2) qarışığından

(90% :10%) ibarət 210 mm diametrlə hədəfdən istifadə olunmuşdur. Çökdürülmə prosesi zamanı alınacaq təbəqənin xassələrinə (müqavimətinə, şəffaflığına və yükdaşıyıcılarının yüklüklüyünə) əhəmiyyətli dərəcədə təsir edə bilən prosesin aparılma temperaturu, qaz tərkibi və təzyiqi kimi amillərə dəqiq nəzarət edilmişdir. Boşalma gücü təxminən 100 Vt olmuş, çökdürülmə müddəti isə təbəqənin qalınlığına əsasən seçilmişdir. Nəticədə, Şüşə/ITO strukturu alınmışdır. Alınmış təbəqənin daha şəffaf və daha yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olması üçün arqon qazı mühitində müxtəlif temperaturlarda termiki işlənmə aparılmışdır. Strukturun elektrofiziki xassələri (səthi müqaviməti, yükdaşıyıcıların yüklüklüyünün onların konsentrasiyasından asılılığı) dördzondlu metodla ölçmələr aparılmaqla tədqiq olunmuşdur, optik xassələri isə Specord 210 spektrofotometrində öyrənilmişdir.

Nəticələr və onların müzakirəsi

ITO indiyə qədər məlum olan ən aşağı müqavimətlərə malik ŞKO materialıdır ($\rho \approx 1,1 \cdot 10^{-4} \Omega\text{sm}$) [1]. O, genişzolaqlı (qadağan olunmuş zolağın eni 3.8eV-dir) yüksək konsentrasiya və yüksək yürüklüklü sərbəst yükdaşıyıcılara malik, n-tip yarımkəçiricidir [2].

İndium Oksid (IO) kristalları və təbəqələri, oksigen çatışmazlığı olan şəraitdə hazırlanıqda daha yüksək keçiriciliyə malik olur [3]. Bu, həm oksigen vakansiyaları, həm də indium atomlarının bu kristal quruluşunda, atomların düzgün yerləşdiyi quruluş vəziyyəti arasında qeyri-adi yerlərdə yerləşməsi (interstisiyaları) sayəsində baş verir, çünki hər iki növ qüsurlar indiumun normal nisbətdən daha az miqdarda istifadə olunduğunu göstərə bilən IO-in yaranmasına səbəb olur [4, 5]. ITO-ya aşqarların əlavə edilməsi, yükdaşıyıcıların konsentrasiyanı xeyli artırmağa imkan verir. Qatqı kimi ən yüksək elektrik aktivasiyaya malik olan Sn elementindən istifadə edilmişdir. Əldə edilə bilən maksimum yükdaşıyıcıların konsentrasiyaları Sn-un həllolma limitinə yaxın olan təxminən 5at.% [6] təşkil edir.



Şəkil 1. ITO, ZnO və SnO₂ də Holl əmsalının yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasından asılılığı.

Qrafikdən görüldüyü kimi, SnO₂ üçün Holl yürüklüyü bütün yükdaşıyıcıların konsentrasiyası diapazonunda ən yüksəkdir. 240 cm²/V·s yaxınlığında pik nöqtəsinə çatır və yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artdıqca azalır, nəhayət 10²⁰sm⁻³ yaxınlığında çox aşağı qiymətlərə düşür.

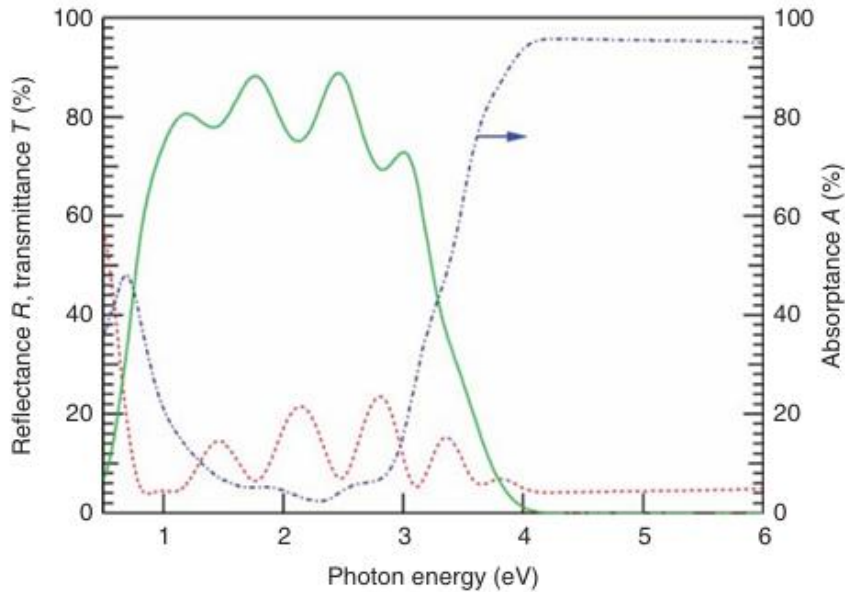
ZnO-nun Holl yürüklüyünün başlanğıc qiyməti təxminən 200 cm²/V·s ətrafındadır, lakin yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artdıqca əhəmiyyətli dərəcədə azalır. 10¹⁸ sm⁻³-dən sonra yürüklük SnO₂-dən daha sürətlə enir.

İndium qalay oksidi (ITO) üçün yürüklükün başlanğıc qiyməti təxminən 150 cm²/V·s-dir və SnO₂ və ZnO ilə müqayisədə daha aşağıdır. Baxmayaraq ki, 10¹⁸ sm⁻³-dən yüksək yükdaşıyıcıların konsentrasiyalarında ZnO-dan daha yüksək qalır, lakin artan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası ilə eyni azalma tendensiyasını da saxlayır.

Yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artdıqca hər üç material üçün Holl yürüklüyü azalır. Yükdaşıyıcıların konsentrasiyası ilə yürüklük arasında bu tərs əlaqə, material daxilində daşıyıcıların daha çox toqquşması nəticəsində alınır.

Aşqar konsentrasiyası təxminən 2at.%-ə qədər olanaq, elektron konsentrasiyası təbəqələrin aşqar tərkibi ilə xətti şəkildə artır. Bu, aşqarın elektrik aktivasiyasının təxminən 100% olduğunu göstərir. Daha yüksək aşqar konsentrasiyaları (>3at.%) üçün elektronların konsentrasiyası təxminən 1,5 · 10²¹sm⁻³ qiymətində doymağa başlayır. Bu doyma, IO-da aşqarın həllolma limiti ilə əlaqəlidir [6].

İşdə qalayla aşqarlanmış In₂O₃ təbəqələrinin optik xassələri də tədqiq edilmişdir.



Şəkil 2. ITO təbəqəsi üçün əks olunmanın (bütöv xətt), optik keçiriciliyin (qırıq xətt) və udulmanın (nöqtəli-kəsikli xətt) fotonun enerjisindən asılılığı.

Qrafik, müxtəlif fotonun enerjiləri üçün materialın optik xüsusiyyətlərini-reflektivlik (optik ötürülmə),

transmissiya (keçiricilik) və absorbansiya (udulma) faizlərinin necə dişməsini göstərir.

Refleksiya (R, yaşıl əyri) işıq şüasının materialın səthindən əks olunmasını göstərir.

Refleksiya nisbətən yüksək (60%-dən yuxarı) başlayır və foton enerjisi artdıqca dalğalanmalar göstərir. Bu dalğalanmalar nazik təbəqələr üçün xarakterik olan interferensiya effektlərini göstərir.

Qrafikdən görünür ki, ən yüksək əks olunma təxminən 1 eV ilə 3 eV intervalında enerjinin qiymətlərində baş verir, burada əks olunma faizi təxminən 100%-ə çatır. Bu, o deməkdir ki, bu enerji səviyyələrində materiala düşən işıq demək olar ki, tamamilə əks olunur. Təbəqə bu enerji intervalında (1240- nm-dən 400 nm dalğa uzunluğuna uyğun) şəffafdır, yəni bu spektral diapazonda şəffaf elektroda uyğundur.

Transmissiya (T, mavi kəsikli əyri) isə materialın işığı neçə faiz keçirdiyini göstərir. Ən aşağı keçiricilik 2 ilə 3 eV enerji intervalında olduğu müşahidə olunur ki, bu da əks olunmanın ən yüksək olduğu hissəyə uyğundur.

Absorbansiya (A, mavi kəsikli əyri) qrafikdə sağ tərəfdə absorbansiya faizini, yəni material tərəfindən udulan işığın miqdarını göstərir. Enerji 4 eV-dən yuxarı olduqda, udulma faizi sürətlə 100%-ə yüksəlir. Bu, materialın bu enerji səviyyələrində işığı tamamilə udulduğunu göstərir.

Bu optik xassələr, bu materialın optik qurğularda, məsələn, aşağı enerji intervalında əks olunma və ya bloklayıcı kimi, yüksək enerjilərdə (4 eV və yuxarı) işıq şüasını keçirilməsində və udulmasında istifadə edilməsinə imkan verir.

Nəticələr

Bu xassələr materialşünaslıqda, xüsusən də ITO kimi yarımkeçirici və ya şəffaf keçirici oksidlərin ekranlar, fotovoltaiqlər və sensorlar kimi cihazlarda optimallaşdırılması üçün vacibdir. Yükdəyiçicilərin konsentrasiyası ilə hərəkətiliyin necə dəyişdiyini anlamaq, material xüsusiyyətlərini xüsusi elektron tətbiqlər üçün tənzimləməyə kömək edir.

İTO təbəqələrinin optimallaşdırılması, daha yaxşı sensor ekranlar, daha effektiv günəş panellərinin alınması üçün materiallar və daha yüksək göstəricili display texnologiyalarında istifadə olunmasına imkan verir. Eyni zamanda, bu texnologiya enerji effektivliyi və qurğuların inteqrasiyası sahələrində yeniliklər üçün də mühüm potensiala malikdir. Aparılan tədqiqatın nəticələri göstərir ki, maqnetron çökdürmə, nazik İTO təbəqələrinin alınması üçün etibarlı və təkrarlanabilən bir metod kimi müasir elektronikanın tələblərinə cavab verir.

- [1] T. Minami. New n-type transparent conductive oxides. MRS Bull. 2000. 25: 38–44.
- [2] Ш.О., Эминов, А.А. Раджабли, Х.Д. Джалилова, А.Ш. Алиев, В.Б. Тагиев. Структурные, электрические и оптические свойства тонких пленок ITO, полученных магнитронным напылением на стекле, АМЕА Хəbərləri, Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, cild XXXVI № 5, səh. 19-27, 2016.
- [3] G. Frank and H. Köstlin. Electrical properties

- and defect models of tin-doped indium oxide layers. Appl. Phys., 1882, A 27: 197–206.
- [4] R. Claret. 1973. Ionized impurity scattering in degenerate In_2O_3 . Appl. Phys. A 2: 247–256.
- [5] de Wit, J.H.W. Electrical properties of In_2O_3 J. Solid State Chem. 1973, 8: 142–149.
- [6] G. Frank, L. Brock and H.D. Bausen. The solubilities of Sn in In_2O_3 and In in SnO_2 crystals grown from Sn–In melts. J. Cryst. Growth 36: 179–180.

A.A. Rajabli

THE ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF THE INDIUM TIN OXIDE (ITO) LAYER OBTAINED BY THE MAGNETRON SPUTTERING METHOD ARE AS FOLLOWS

The Indium Tin Oxide (ITO) layer belongs to the class of Transparent Conductive Oxides (TCO) and was obtained by the magnetron sputtering method. For this, ceramic targets consisting of a mixture of indium oxide (In_2O_3) and tin oxide (SnO_2) were used. In the obtained Glass/ITO structure, electrophysical properties such as the dependence of charge carriers' mobility on their concentration and the material's resistance, as well as the optical properties of the layer, including the conductivity, reflection, and absorption of light depending on the photon's energy, were studied. The results have been explained.

А.А. Раджабли

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЯ ОКСИДА ИНДИЯ И ОЛОВА (ITO), ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Оксид индия-олова (ITO) является слоем прозрачных проводящих оксидов (ППО) и получен методом магнетронного распыления. Для этого использовались керамические мишени, состоящие из смеси оксида индия (In_2O_3) и оксида олова (SnO_2). В полученной структуре Стекло/ITO были исследованы электрофизические свойства, такие как зависимость подвижности носителей заряда от их концентрации, сопротивление материала, а также оптические свойства слоя, включая зависимость проводимости, отражения и поглощения света от энергии фотона. Приведены объяснение результатов исследований