

АНОТАЦІЯ
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ
СТУДЕНТА ФМФ, другого (магістерського) рівня вищої освіти,
ГР. ОФ-21 мп
Олексія СВІТАЙЛО

На тему: Сильнолеговані тонкі плівки ZnO для сонячних комірок

Науковий керівник: д. ф.-м. н., професор кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» Назаров О. М.

Актуальність: Оксид цинку становить значний інтерес дослідників у зв'язку з можливістю прикладного використання. Цей матеріал має високу радіаційну, хімічну і термічну стійкість і в перспективі може широко використовуватися при створенні елементів прозорої електроніки. Завдяки поєднанню унікальних оптичних, електричних і п'єзоелектричних властивостей, ZnO може застосовуватися в газових сенсорах, пристроях генерації поверхневих акустичних хвиль, фотонних кристалах, фотодіодах. Крім того, оксид цинку є перспективним катодолюмінофором. У зв'язку з широкою забороненою зоною напівпровідники ZnO ($E_g = 3,37$ eV) можна використовувати в якості детекторного матеріалу для реєстрації ультрафіолетового випромінювання. На основі цих матеріалів можливо також створення ефективних світловипромінюючих (LEDs) і лазерних діодів. Плівки ZnO також привертають увагу дослідників як антивідбиваючі, захисні і струмознімаючі шари («оптичні вікна») сонячних елементів великої площі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами кафедри: Роботи проводяться в безпосередньому зв'язку з планом наукових досліджень кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів НТУУ «КПІ ім. Ігоря

Сікорського», а саме за темою – «Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави».

Об'єкт дослідження: електрофізичні властивості плівок оксиду цинку в залежності від умов осадження.

Предмет дослідження: тонкі плівки оксиду цинку сильнолеговані воднем ZnO:H, які були отримані методом високочастотного реактивного осадження в атмосферах аргону і водню та аргону і метану.

Мета роботи: Отримання загальних закономірностей формування фізичних властивостей і структури покриттів з ZnO, отриманих методом магнетронного розпилення, в залежності від умов і параметрів осадження для формування ефективних кремнієвих сонячних елементів.

Методи дослідження: скануючої електронної мікроскопії, рентгенографії, чотирьохзондовий метод, метод Ван дер Пау, метод Холла, метод довгої лінії, метод мас-спектроскопії, метод аналізу вольт-амперних характеристик і вольт-ємностних характеристик гетероструктур, метод порівняльного аналізу.

Відомості про обсяг звіту, кількість ілюстрацій, таблиць, додатків і літературних найменувань за переліком використаних: 103 сторінки, 34 рисунки, 6 таблиць, 53 посилання.

Мета індивідуального завдання, використані методи та отримані результати: метою індивідуального завдання є дослідження структурних та електрофізичних характеристик тонких плівок оксиду цинку, отриманих методом реактивного магнетронного осадження в атмосферах аргону і водню та аргону і метану, в залежності від умов їх осадження та аналіз використання гетероструктур на їх основі у якості сонячної комірки. На основі розрахунків за методами Ван дер Пау та Холла було продемонстровано, що отримані плівки

мають високий ступінь легування до $\sim 10^{21}$ cm^{-3} та доволі низьку рухливість електронів $0,1 \div 7$ $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$. До того ж зразки осадженні в атмосфері аргону і метану мають на порядок більшу електричну провідність, а також концентрацію легування, ніж осаджені в аргоні з воднем, та $\sim 1,5$ рази вищу рухливість при відповідних концентраціях реактивного газу.

Новизна: вперше показано, що осадження ZnO методом ВЧ магнетронного розпорошення порошкової мішені в атмосфері із додаванням метану призводить до формування сильно легованого матеріалу n-типу із більшої концентрації легуючої домішки, ніж в атмосфері із додаванням водню за тих самих умов, також вперше отримані результати, що свідчать про неможливість отримання ефективного анізотипного p-n гетеропереходу переходу для тонких плівок ZnO:H на підкладці з p-типу легованого кремнію та формування ізотипного $n-n^+$ переходу із збідненою приповерхневою областю кремнію, що дозволяє формувати кремнієві сонячні комірки невисокої ефективності.

Висновок: отримані результати дослідження тонких плівок ZnO:H показують високу оптичну прозорість, структурну однорідність та незначну кількість наявних дефектів разом із високим ступенем легування та концентрацією електронів та низьким питомим опором, особливо для плівок осаджених в атмосфері метану з аргоном, які в цілому показують більш високі характеристики. Це дає змогу припускати, що досліджувані плівки ZnO:H є перспективним матеріалом для фотоелектроніки. Проте результати досліджень гетероструктур ZnO:H/Si свідчать про наявність проміжного шару ймовірно SiO_x , який містить негативний заряд, що через свою електричну активність значно погіршує показники гетеропереходів на p-типі кремнію. З цього випливає неможливість використання даних гетероструктур саме в якості сонячного елемента, але показники саме тонких плівок ZnO:H свідчать про потенційну можливість їх використання у сонячній енергетиці, як один з компонентів у багатошарових сонячних комірках, наприклад, на основі халькопіритів, або при осадженні через буферний шар на кремнієву підкладку, щоб запобігти утворення зарядженої області на межі їх поділу.

Перелік ключових слів: оксид цинку, ZnO, водень, легований воднем, сильнолегований, напівпровідник, тонкі плівки, метод магнетронного розпилення, сонячна комірка

Підпис керівника

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Olexiy Nazarov', written in a cursive style.

Олексій НАЗАРОВ

SUMMARY

**TO THE REPORT TO SCIENTIFIC AND RESEARCHING
PRACTICE STUDENT OF FMF,
2 COURSE OF THE MASTER LEVEL, GR. OF-21 mp
Oleksii SVITAYLO**

On the topic: Highly doped thin ZnO films for solar cells

Scientific supervisor: PhD of physics-mathematical sciences, professor Oleksiy Nazarov.

Topicality: Zinc oxide has considerable interest to researchers due to the possibility of application. This material has high radiation hardness, chemical and thermal resistance and in the future could be widely used in a fabrication of elements of transparent electronics. Due to the combination of unique optical, electrical and piezoelectric properties, ZnO can be used in chemical gas sensors, surface acoustic wave generators, photonic crystals, photodiodes. Additionally, zinc oxide is a promising cathodoluminophore. Due to the wide band gap ($E_g = 3.37$ eV), ZnO can be used as a detector material for detecting ultraviolet radiation. Based on these materials, it is also possible to create efficient light-emitting (LEDs) and laser diodes. ZnO films are also attracting the attention of researchers as anti-reflective, protective and current-discharging layers ("optical windows") of large-area solar cells.

Relationship of work with scientific programs, plans, themes department: The works are carried out in direct connection with the research topic of the Department of General Physics and Modeling of Physical Processes of Igor Sikorsky KPI - "Fundamental scientific research on the most important problems of development of scientific, technical, socio-economic, human potential to ensure Ukraine's competitiveness in the world and sustainable development of society and the state".

Object of research: study of electrophysical properties of zinc oxide films depending on deposition conditions.

Subject of research: thin highly-doped with hydrogen zinc oxide films ZnO:H, which were obtained by high-frequency reactive deposition in argon and hydrogen and argon and methane atmospheres.

Purpose of work: Obtaining general rules for the formation of physical properties and structure of ZnO coatings obtained by magnetron sputtering, depending on the conditions and parameters of deposition for the formation of efficient solar cells on a silicon substrate, analyzing the possibility and feasibility of using such solar cells.

Research methods: scanning electron microscopy, X-ray diffraction method, mass spectroscopy method, four-point method, Van der Pauw method, Hall method. Transmission Line Measurement method, method for analyzing the volt-ampere characteristics and volt-capacitance characteristics of heterostructures, method of comparative analysis

Information about the volume of the report, the number of illustrations, tables, applications and literary names in the list of used ones: 103 pages, 36 figures, 6 table, 53 references.

The purpose of the individual task, the methods used and the results obtained: The aim of the individual task is to study the structural and electrophysical characteristics of zinc oxide thin films obtained by reactive magnetron deposition in argon and hydrogen and argon and methane environments, depending on the deposition conditions, and to analyze the application of heterostructures based on these films as solar cells. According to the calculations based on the Van der Pauw and Hall methods, it was demonstrated that the obtained films have a high degree of doping up to $\sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ and a rather low electron mobility of $0,1 \div 7 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ c}^{-1}$. In addition, the samples deposited in argon and methane environments have an order of magnitude higher doping concentration than those deposited in argon with hydrogen and ~ 1.5 times higher mobility at the corresponding concentrations of the reactive gas.

Research novelty of the results: for the first time, it is shown that the deposition of ZnO by RF magnetron sputtering of a powdery target in an atmosphere with the addition of methane leads to the formation of a highly doped n-type material with a higher concentration of dopant than in an atmosphere with the addition of hydrogen under the same conditions, and for the first time, results are obtained that indicate the impossibility of obtaining an effective anisotropic p-n heterojunction for ZnO:H thin films on a p-type doped silicon substrate and the weak severity of the $n-n^+$ transition, which makes it impossible to use this technology in the formation of silicon solar cells.

Conclusion: the obtained results of the study of ZnO:H thin films show high optical transparency, structural homogeneity, and a small number of defects, along with a high degree of doping and electron concentration and low resistivity, especially for films deposited in a methane atmosphere with argon, which generally show higher characteristics. This suggests that the studied ZnO:H films are a promising material for photonics. However, the results of studies of ZnO:H/Si heterostructures indicate the presence of an intermediate layer, probably SiOH, which contains a negative charge, which, due to its electrical activity, significantly worsens the performance of heterojunctions on p-type silicon. This implies the impossibility of using these heterostructures as a solar cell, but the performance of ZnO:H thin films indicates the potential for their use in solar energy as one of the components in multilayer solar cells, for example, based on chalcopyrite, or when deposited through a buffer layer on a silicon substrate to prevent the formation of a charged region at the interface.

Keyword list (no more than 20): zinc oxide, ZnO, hydrogen, hydrogen-doped, highly doped, semiconductor, thin films, magnetron sputtering method, solar cell.

Signature of the scientific
supervisor



Alexei N. Nazarov