

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Носирзода Мухаммад на тему «Влияние малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых соединений CdTe и CdZnTe» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400-Физика (6D060407-Физика конденсированного состояния).

### **1. Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.**

Тема и содержание диссертационной работы: «Влияние малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых соединений CdTe и CdZnTe» соответствует паспорту научной специальности 6D060400 – Физика (6D060407-Физика конденсированного состояния), утвержденной Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан по следующим пунктам:

- теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков, в том числе светящихся веществ, как в твердом, так и в аморфном состояниях в зависимости от химического состава, изотопа, температуры и давления;
- разработка математических моделей и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных сред в зависимости от влияния внешних факторов;
- разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и изложение физических основ промышленной технологии получения веществ с определенными свойствами.

### **2. Актуальность темы исследования.**

Известно, что в настоящее время полупроводники широко используются в микроэлектронике, приборах регистрации ядерных излучений, а также в системах преобразования солнечной энергии в электрическую и т.д. Среди множества полупроводников с различными характеристиками особое место занимает прямозонный полупроводник CdTe с шириной запрещенной зоны 1.49 эВ и высоким коэффициентом поглощения, что позволяет использовать его в качестве светопоглощающего материала. К числу существенных преимуществ полупроводников группы  $A^2B^6$  относятся высокая эффективность преобразования солнечного излучения, высокая чувствительность и достаточно высокое энергетическое разрешение приборов для регистрации излучений на их основе, а также относительная доступность и невысокая стоимость, что делает их перспективными для более широкого применения, включая разработку детекторов рентгеновского и гамма-излучения с высокой скоростью счета. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных свойствам CdTe при различных внешних воздействиях, остаются нерешенными отдельные вопросы, касающиеся радиационной стойкости этого материала к различным видам излучения и различным флюенсам. Особый интерес представляет исследование влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на электрофизические, оптические, структурные и морфологические свойства CdTe. Дополнительное внимание

заслуживает вопрос легирования CdTe цинком с образованием твёрдого раствора  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  ( $\text{CdZnTe}$ ), что позволяет улучшать отдельные свойства материала. Однако влияние концентрации цинка, а также возможное образование радиоактивных изотопов при нейтронном облучении до конца не изучено и требует дальнейшего рассмотрения. В этой связи тема диссертационной работы Носирзода Мухаммад «Влияние малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых соединений CdTe и CdZnTe» является актуальной и востребованной.

### **3. Степень научной новизны результатов диссертации и положений, выносимых на защиту.**

Степень научной новизны результатов изложенных в диссертации и положений, выносимых на защиту, считаю высокой, так как:

комплексными экспериментальными методами установлен характер изменения удельного сопротивления CdTe и CdZnTe при комнатной температуре после облучения малыми потоками тепловых нейтронов;

на основе обоснованного анализа увеличения интенсивности рентгенодифракционных отражений, чувствительных к структурным характеристикам CdTe, установлено улучшение её структуры после облучения малыми потоками тепловых нейтронов;

установлена зависимость структурных параметров CdTe и CdZnTe от потока тепловых нейтронов с использованием рентгеноструктурного метода исследования с высоким разрешением ( $\Delta d/d=10^{-4}$ );

проведено квантово-механическое моделирование процесса взаимодействия тепловых нейтронов на CdTe с применением теории функционала плотности (DFT).

На мой взгляд, следующие пункты положений, выносимых на защиту являются новыми, обоснованными, доказанными:

- влияние тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых кристаллов CdTe и CdZnTe;
- зависимость проводимости полупроводниковых кристаллов CdTe и CdZnTe от величины потока тепловых нейтронов;
- эффект малых потоков тепловых нейтронов при их взаимодействии с полупроводниковыми кристаллами CdTe;
- квантово-механический расчёт электронно-оптических свойств полупроводниковых кристаллов CdTe и CdZnTe;
- зависимость оптических свойств полупроводниковых кристаллов CdTe от потока тепловых нейтронов;
- протекание ядерных реакций под действием тепловых нейтронов, приводящих к изменению характеристик полупроводниковых кристаллов CdTe и CdZnTe.

### **4. Степень изученности научной темы.**

В связи с широким применением полупроводников в различных областях науки и техники и высокой потребностью в материалах с заданными свойствами, проводятся многочисленные исследования для улучшения их свойств и придания им

новых качеств. Наряду с другими полупроводниками, CdTe и CdZnTe также широко изучены, в основном, в контексте оптимизации их электрофизических параметров. С этой целью данные материалы подвергались различным видам обработки — термической, ультрафиолетовой, лазерной, а также исследовались под действием давления и облучения различными видами ионизирующего излучения (гамма-квантами, рентгеновским излучением, электронами, протонами, ионами и нейтронами). Среди указанных факторов особый интерес представляет воздействие тепловых нейтронов для оптимизации свойств полупроводников CdTe и CdZnTe, так как в отличие от гамма-квантов, рентгеновского излучения и электронов, обладающих недостаточной энергией для инициирования ядерных реакций, тепловые нейтроны способны вызывать ядерные превращения. В результате таких реакций могут образовываться новые изотопы, смещающиеся из узлов кристаллической решётки или занимающие междоузлия, что вносит дефекты в решётку и приводит к изменениям параметра элементарной ячейки и ширины запрещённой зоны. Эти процессы, в свою очередь, оказывают влияние как на электрофизические, так и на оптические свойства полупроводника.

К настоящему времени имеются научные публикации по исследованию влияния тепловых нейтронов больших флюенсов (потоков) на свойства CdTe и CdZnTe. Следуют отметить, что полупроводники в основном облучались тепловыми нейтронами на ядерном реакторе, где при облучении используется весь широкий энергетический спектр тепловых нейтронов ядерного реактора. Имеется не очень большое количество работ по применению малых флюенсов (потоков) тепловых нейтронов с целью улучшения свойств CdTe и CdZnTe. В связи с этим влияние малых потоков (флюенса) тепловых нейтронов на структуру, оптические и электрофизические свойства CdTe и CdZnTe остаётся недостаточно изученным.

Поэтому, в настоящей диссертационной работе исследовано влияние малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические характеристики CdTe и CdZnTe с применением различных методов (рентгеновская дифракция, спектрофотометрия, квантово-механические расчеты).

## **5. Объем и структура диссертации.**

Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы, содержащего 149 наименований. Общий объем диссертации составляет 142 страницы и включает 55 рисунков и 12 таблиц.

Во введении на основании актуальности выбранной темы, определены цель, задачи, объект и предмет исследования, обоснованы научная новизна, практическая значимость полученных результатов.

В главе 1 представлен подробный литературный анализ электрофизических, структурных и оптических свойств перспективных полупроводников CdTe и CdZnTe. Рассмотрена морфология их структуры после технологических обработок. Выполнен анализ изменения фундаментальных свойств твердых тел и полупроводников под воздействием различных видов излучения — гамма-квантов, рентгеновского излучения, заряженных частиц, ионов и нейтронов — при различных дозах, флюенсах и энергиях.

**В частности,** подробно изложены механизмы образования различных радиационных дефектов, приведены основные электрофизические свойства полупроводников групп  $A^{IV}B^{IV}$ ,  $A^{III}B^V$  и  $A^{II}B^{VI}$ , используемые в детекторах, освещены особенности изменения оптических свойств полупроводниковых материалов (в основном CdTe) при облучении гамма-квантами (дозой 120 кГр), УФ-излучением. Сообщаются литературные данные о том, что с увеличением дозы облучения (гамма-кванты) оптическая энергетическая щель в CdTe уменьшается с 1,53 до 1,48 эВ, а ширина локализованных состояний увеличивается с 1,34 до 1,49 эВ.

В конце Главы 1 обобщены результаты анализа литературных источников и обозначены три основные задачи, которые целесообразно рассмотреть в рамках выполнения диссертационной работы.

**В главе 2** изложена методика получения образцов для проведения экспериментов, а также описаны методы, использованные для реализации цели и задач диссертационной работы. Автором обоснованно выбраны современные высокоточные, высокочувствительные методы: рентгенодифракционный метод анализа структур и структурных характеристик полупроводников, метод атомно-силовой микроскопии (для исследования морфологии поверхности), метод рентгеноспектрального микроанализа (для определения элементного состава на поверхности образца), спектрофотометрический метод исследования оптических свойств, методика измерения потока тепловых нейтронов и облучения образцов, а также квантово-механический метод расчета структурных, электронных и оптических свойств CdTe и CdZnTe с применением теории функционала плотности, кода расширенных плоских волн, пакета Wien2k с обобщенным градиентом аппроксимации GGA-PBE и модифицированным обменно-корреляционным потенциалом mBJ.

Образцы CdTe приготовлены методом вакуумного напыления, а кристаллы CdZnTe выращены методом направленной кристаллизации.

**В частности,** для квантово-механических расчетов свойств CdTe и CdZnTe в качестве входных данных использованы параметры кубической структуры CdTe с фиксированными координатами атомов Cd, Te и Zn, радиусы ионов для Cd, Te и Zn принимались равными  $2,5a_0$  ( $a_0$  — радиус Бора).

В конце главы 2 сделано вывод о том, что изложенные методики проведения позволяют провести исследования электрофизических, структурных и оптических характеристик CdTe и CdZnTe с достаточной точностью до и после облучения тепловыми нейтронами.

**В главе 3** приведены результаты влияния облучения тепловыми нейтронами на электрофизические характеристики CdTe, легированного хлором, и CdZnTe, а также на их структурные параметры. Pu-Be является источником нейтронов и для получения тепловых нейтронов использовался слой парафина. В результате рентгенодифракционных исследований CdTe после облучения тепловыми нейтронами флюенсами (потоками)  $1.3 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup>,  $2.16 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> и  $3.02 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> обнаружены новые отражения на рентгенограмме образца при углах рассеяния  $2\theta_B \approx 31.2^\circ$ ;  $2\theta_B \approx 35.3^\circ$ ,  $2\theta_B \approx 43.5^\circ$ , что связывается с появлением примесных изотопов в

процессе облучения. Также, после облучения тепловыми нейтронами возросла интенсивность рефлекса при  $2\theta_B \approx 47,9^\circ$ , причем с увеличением флюенса нейтронов, относительная интенсивность рефлекса растет, центр пика-рефлекса смещается в сторону меньших углов рассеяния, что свидетельствует об изменении параметра кубической элементарной ячейки и размера кристаллитов.

Влияние ядерного излучения на структуры CdZnTe исследовано при флюенсах тепловых нейтронов  $1.3 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup>,  $2.16 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup>,  $2.64 \cdot 10^7$  н/см<sup>2</sup>,  $1.21 \cdot 10^9$  н/см<sup>2</sup> и установлено, что с увеличением флюенса тепловых нейтронов интенсивность рентгеновских рефлексов уменьшается.

**В частности**, установлены различия во влиянии тепловых нейтронов на структуры полупроводников CdZnTe и CdTe, выявленные по изменению интенсивности рефлексов после облучения тепловыми нейтронами, что по мнению диссертанта, может быть обусловлено характером межатомных связей, а также тем, что предельная устойчивость трёхкомпонентного кристалла ниже, чем у двухкомпонентного.

В конце главы 3 сделан вывод о том, что увеличение интенсивности рентгеновских рефлексов свидетельствует о снижении количества дефектов, повышении степени упорядоченности и, возможно, рекристаллизации материала под радиационным воздействием. Зависимость между интенсивностью дифракционных максимумов и величиной потока тепловых нейтронов можно использовать для оценки состояния материала.

**В главе 4** приведены результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований электронных и оптических свойств CdZnTe и CdTe. Приведены результаты расчетов, выполненных с использованием метода теории функционала плотности структурных и электронных характеристик  $Cd_xZn_{1-x}Te$  и на основе расчетов оптимизированы структурные параметры нанокристаллов  $Cd_xZn_{1-x}Te$ . Установлено, что при увеличении содержания Zn происходит линейное уменьшение параметра решётки и соответственно, объема кристаллической ячейки. С увеличением содержания цинка в  $Cd_xZn_{1-x}Te$  растет величина запрещенной зоны от 1.501 эВ в CdTe до 1.840 эВ в  $Cd_{0.25}Zn_{0.75}Te$ , а при полном замещении атомов кадмия атомами цинка, т.е. в ZnTe ширина запрещенной зоны равна 2.169 эВ. Рассчитана полная плотность электронных состояний для оптимизированных моделей  $Cd_xZn_{1-x}Te$ , расчет осуществлен с учетом вклада s-, p- и d-орбиталей атомов. С увеличением содержания атомов цинка наблюдается расширение запрещенной зоны и повышение плотности электронных состояний.

Рассчитана действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости (при энергии фотонов от 0 до 14 эВ) системы  $Cd_xZn_{1-x}Te$  ( $x=0.0; 0.25; 0.5; 0.75; 1$ ), где отрицательные значения действительной части диэлектрической проницаемости свидетельствуют о металлической природе материала. А мнимая часть диэлектрической проницаемости характеризует способность материала к поглощению энергии фотонного излучения и зависит от зонной структуры образца.

Расчетным способом определены коэффициенты поглощения и оптическая проводимость в  $Cd_xZn_{1-x}Te$  ( $x=0.0; 0.25; 0.5; 0.75; 1$ ) в зависимости от энергии фотонов ( $E=0-3.5$  эВ) и установлен характер зависимости.

**В частности,** расчеты плотности электронных состояний для CdTe и ZnTe показывают, что они имеют сравнительно низкую плотность состояний в зоне проводимости. С увеличением содержания цинка в  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$  и приближении состава к ZnTe наблюдается рост плотности состояний как в валентной зоне, так и в зоне проводимости. Из выполненных расчетов установлено, что с увеличением содержания цинка растет ширина запрещенной зоны, плотность электронных состояний и образуются новые энергетические уровни, обусловленные вкладом р-электронов орбиталей Zn, которые отсутствуют в зонной структуре CdTe. Диссертантом на основе расчетов построены энергетические зонные диаграммы в CdTe,  $\text{Cd}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Te}$ ,  $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Te}$ ,  $\text{Cd}_{0.25}\text{Zn}_{0.75}\text{Te}$  и ZnTe, которые свидетельствуют о прямозонной структуре образцов, что делает их перспективным оптическим материалом.

В конце главы 4 сделаны следующие выводы из двух пунктов:

- квантово-механический расчет показал, что добавление определенной концентрации цинка в структуру CdTe оптимизирует ширину запрещенной зоны. По мере возрастания концентрации цинка наблюдается линейное увеличение ширины запрещенной зоны. Оптимальная концентрация Zn ( $x = 0,75$ ) эффективно увеличивает коэффициент поглощения;

- результаты квантово-механических расчетов процесса влияния тепловых нейтронов на CdTe показали, что влияние малых потоков (флюенса) приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны материала. Выявлено, что после взаимодействия нейтронов роль р-состояний атома теллура в формировании электронных состояний возрастает. Результаты расчета и экспериментов по исследованию оптических свойств показали, что в области малых потоков коэффициент поглощения увеличивается, однако с ростом флюенса данный параметр начинает снижаться по сравнению с исходным значением.

**Заключение (выводы) по диссертационной работе состоит из 7 пунктов:**

1. Исследовано влияние тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых кристаллов CdTe, CdZnTe и CdTe/Si. Произведен квантово-механический расчет взаимодействия CdTe с тепловыми нейтронами.
2. Установлено, что при взаимодействии потока тепловых нейтронов от  $2,64 \cdot 10^7$  н/см<sup>2</sup> до  $7,34 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> проводимость пленок CdTe/CdTe увеличивается от 10 до 100 раз. При облучении пленок CdTe/Si в тех же потоках, значение проводимости изменяется мало.
3. Методом РСА показано, что в области потока тепловых нейтронов от  $2,64 \cdot 10^7$  н/см<sup>2</sup> до  $3,02 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> структура кристаллов CdTe улучшается. Длительное облучение ухудшает структуру CdTe.
4. Показано, что на рентгенодифрактограммах облученных тепловыми нейтронами CdTe при  $2\theta \approx 43,5^\circ$  появляются новые рефлексы отражения. Установлено, что эти рефлексы связаны с образовавшимися в результате ядерных реакций тепловых нейтронов с ядрами кадмия изотопов серебра и палладия.

5. Методом РСА установлено, что облучение тепловыми нейтронами ухудшает структуру CdZnTe. Показано, что облучение тепловыми нейтронами от  $2,64 \cdot 10^7$  н/см<sup>2</sup> до  $3,02 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> незначительно уменьшает проводимость.
6. Квантово-механическим расчетом установлено, что добавление определенной концентрации Zn увеличивает ширину запрещенной зоны. С ростом концентрации Zn полоса поглощения смещается в область коротких волн. Оптимальная концентрация Zn в структуре  $Zn_xCd_{1-x}Te$  равна  $x=0,75$ . Показано, что в процессе взаимодействия тепловых нейтронов с CdTe после вырывания одного атома кадмия, как эквивалент одного акта взаимодействия нейтронов в формировании электронных состояний CdTe роль р-состояний атома Te возрастает. Показано, что максимум полосы оптического поглощения смещается из ультрафиолетовой части спектра с длиной волны 318 нм в сторону видимой части с длиной волны 477 нм. Коэффициент поглощения при этом увеличивается на 20% по сравнению с исходным значением.
7. Показано, что при облучении потоком тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> наблюдается увеличение коэффициента оптического поглощения. Предположено, что обнаруженное явление есть результат появления промежуточных соединений, которые имеют большую поглотительную способность в исследованных длинах волн спектра. Облучение потоком  $4,32 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> приводит к уменьшению этого параметра. На кривых поглощения облученного CdTe появляются дополнительно два пика поглощения (549 и 577 нм, соответственно), которые относятся к соединению AgCl, что доказывает правильность утверждения о протекании ядерной реакции  $Cd(n, p)Ag$  под действием тепловых нейтронов

#### **6. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость диссертации.**

Полученные в диссертационной работе результаты об изменении ширины запрещенной зоны и параметра решетки при замене части атомов теллура цинком в CdTe, о характере влияния малых потоков тепловых нейтронов на различные характеристики исследуемых объектов, о различии результатов влияния нейтронов на некоторые параметры CdTe и  $Zn_xCd_{1-x}T$  могут быть экспериментальной базой для обобщения и последующей разработки механизмов и закономерностей обнаруженных изменений.

Способ по улучшению облучением тепловыми нейтронами разных потоков (флюенсов) электрофизических, структурных и оптических характеристик полупроводниковых кристаллов CdTe и CdZnTe может быть использован для повышения производительности солнечных преобразователей, а эффект «малых» потоков (флюенсов) можно использовать при изготовлении детекторов ядерных излучений. Также, можно предварительно оценить предел радиационной стойкости приборов, созданных на основе прямозонных полупроводников CdTe и CdZnTe, а результаты квантово-механических расчетов по оптимизации электронных свойств CdZnTe можно применить в производстве солнечных панелей.

С экономической точки зрения использование полупроводников CdTe и CdZnTe в солнечной энергетике и детекторах ядерных излучений с учетом результатов настоящей диссертации является экономически целесообразным, так как они обладают высокой эффективностью и радиационной стойкостью. А использование полупроводников CdTe и CdZnTe в солнечной энергетике позволит снизить отрицательное влияние вредных газов, образующихся при выработке электроэнергии традиционными методами, на окружающую среду, экологию, чем определяет её социальную значимость.

#### **7. Публикация результатов исследования по теме диссертации.**

Материалы диссертационной работы Носирзода Мухаммад опубликованы в 17 научных трудах, включая 5 статей и 12 тезисов докладов: из пяти статей 4 опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Республики Таджикистан, одна статья в издании, входящем в международную базу данных SCOPUS (Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2023. – V. 13, – Issue 1, 90) , 12 тезисов опубликованы в сборниках материалов республиканских и международных конференций.

#### **8. Соответствие диссертации требованиям Комиссии.**

Диссертация и автореферат диссертации соответствует требованиям Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, № 267.

Несмотря на это, в диссертации имеются некоторые недостатки, спорные положения, статистические ошибки, грамматические орфографические ошибки, среди которых можно выделить следующие:

1. В Главе 1. в названии пункта 5 (стр.39) допущена грамматическая ошибка: Изменение оптических свойств полупроводниковых материалов при облучении.
2. Использованы не очень удачные формулировки, например: В связи с этим вопросы, очень важным является рассмотрение следующих задач (стр.44).
3. На странице 57 (третий абзац сверху) и странице 82, нужно исправить 2 $\theta$  на 2 $\theta_B$ .
4. В качестве пожелания хотелось бы отметить:
  - на рентгенограмме после облучения тепловыми нейтронами наблюдается наряду со смещением пиков их уширение, что свидетельствует об изменении размера кристаллитов. Можно определить характерные размеры кристаллитов из ширины рентгенодифракционных рефлексов по формуле Дебая-Шеррера:  $D = K\lambda/(\beta \cos\theta)$ , где  $D$  – размер кристаллитов в нм,  $\lambda$  – длина волны излучения,  $\theta$  – угол рассеяния (половина угла дифракции  $2\theta_B$ ),  $\beta$  – физическое уширение линии на дифрактограмме (ширина рефлекса на половине максимума интенсивности) в радианах, коэффициент  $K = 0,94$ .
  - для получения более полной информации о кристаллической структуре исследуемых образцов (таких как, координаты атомов и их смещения, тепловой фактор каждого атома, заселенность позиций атомами, микронапряжение, плотность дислокаций, параметры элементарной ячейки) целесообразно было бы использовать программу FullProf.

Указанные замечания и недостатки в целом не снижают качество и положительную научную оценку данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на ее научный уровень.

**В целом,** диссертационная работа Носирзода Мухаммад на тему «Влияние малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых соединений CdTe и CdZnTe» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400-Физика (6D060407-Физика конденсированного состояния) выполнена на высоком научно-методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения учёных степеней, утвержденном постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени PhD по указанной специальности.

**Официальный оппонент:**

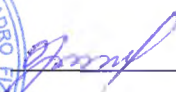
Заместитель директора Института ядерной  
физики АН Республики Узбекистан,  
доктор физико-математических  
наук, профессор



Маннаб Юсупович Ташметов

Подпись М.Ю.Ташметова заверяю:

Начальник отдела кадров Института  
ядерной физики АН  
Республики Узбекистан



Г.М.Эрназарова

Адрес: 100214 Ташкент, М.Улугбекский район, п.Улугбек, ул.Хуросан 1  
Республика Узбекистан

Адрес электронной почты: mannab@inp.uz

08.08.2025