

Study on nanosensor materials for digital English teaching in human-computer interaction

Badanie dotyczące materiałów do produkcji nanosensorów w cyfrowej nauce języka angielskiego w kontekście interakcji człowiek-komputer



DOI: 10.15199/62.2026.4.7

Opracowano i przetestowano 3 nowe materiały nanosensoryczne (kompozyt grafen/węgiel-nanorurki węglowe, dwuwymiarowy MXene $Ti_3C_2T_x$ oraz przewodzący nanokompozyt polianilina/włókna nanocelulozowe) pod kątem ich zastosowania w technologii interakcji człowiek-komputer (HCI) w cyfrowym nauczaniu języka angielskiego. System HCI oparty na nanoczujnikach znacząco poprawił efektywność treningu mówienia w języku angielskim, nauce słownictwa oraz interaktywnych dialogach, a także zwiększył ogólną jakość nauczania. Elastyczne nanosensory oparte na MXene wykazały najlepszą ogólną wydajność, charakteryzując się czułością na ciśnienie wynoszącą $3,27 \text{ kPa}^{-1}$, czasem reakcji wynoszącym 18 ms oraz stabilnością przekraczającą 5000 cykli zginania, co pozwala im skutecznie rejestrować subtelne ruchy ciała, sygnały drgań związane z wymową oraz trajektorie pisma ręcznego podczas nauki języka angielskiego.

Słowa kluczowe: materiały do produkcji nanosensorów, interakcja człowiek-komputer (HCI), cyfrowe nauczanie języka angielskiego, czujniki elastyczne, inteligentna edukacja, MXene, grafen

Three new nanosensor materials (graphene/C nanotube composite, 2-dimensional $Ti_3C_2T_x$ MXene and conductive polyaniline/cellulose nanofiber-reinforced nanocomposite) were prepd. and tested for performance in human-computer interaction (HCI) technol. for digital English teaching. The nanosensor-based HCI system significantly improved the efficiency of oral English training, vocabulary learning and interactive dialogue, and enhanced the overall qual. of the teaching. The MXene-based flexible nanosensors showed the best comprehensive performance with a pressure sensitivity of 3.27 kPa^{-1} , a response time of only 18 ms and a stability of more than 5000 bending cycles, which can efficiently capture subtle body movements, oral pronunciation vibration signals and handwritten input trajectories in the English learning.

Keywords: nanosensor materials, human-computer interaction (HCI), digital English teaching, flexible sensors, intelligent education, MXene, graphene

W erze edukacji cyfrowej i tworzenia inteligentnych kampusów cyfrowe nauczanie języka angielskiego stało się nieodzowną częścią współczesnej edukacji językowej, przełamując ograniczenia czasowe i przestrzenne tradycyjnych zajęć w sali lekcyjnej oraz umożliwiając zróżnicowane i spersonalizowane formy nauki¹⁾. Tradycyjne platformy do nauki języka angielskiego opierają się głównie na myszce, klawiaturze, ekranie dotykowym i innych sztywnych urządzeniach interaktywnych, które nie zapewniają intrygujących wrażeń, nie są w stanie uchwycić subtelnych sygnałów behawioralnych i reakcji fizjologicznych uczniów w czasie rzeczywistym, a także mają trudności z zaspokojeniem potrzeb związanych ze spersonalizowanym treningiem mówienia, sytuacyjnymi dialogami interaktywnymi oraz inteligentną oceną w procesie nauki języka angielskiego²⁾. Technologia interakcji człowiek-komputer HCI (*human-*

In the era of digital education and smart campus construction, digital English teaching has become an indispensable part of modern foreign language education, breaking the limitations of time and space in traditional classroom teaching and realizing diversified and personalized learning modes¹⁾. Traditional digital English teaching platforms mainly rely on mouse, keyboard, touch screen and other rigid interaction devices, which lack immersive experience, cannot capture learners' subtle behavioral signals and physiological feedback in real time, and it is difficult to meet the needs of personalized oral training, situational interactive dialogue and intelligent assessment in English learning²⁾. Human-computer interaction (HCI) technology, as a bridge connecting learners and digital teaching systems, determines the quality of learning experience and the efficiency of knowledge acquisition. The core of building high-performance HCI systems lies in the research and development of high-sensitivity sensing materials and devices.

* Address for correspondence/Adres do korespondencji:

College of Foreign Languages, Beihua University, Jilin City, Jilin Province, 132000 China; e-mail: liangying199@hotmail.com

-computer interaction), pełniąca funkcję pomostu łączącego uczniów z cyfrowymi systemami nauczania, decyduje o jakości procesu uczenia się oraz efektywności przyswajania wiedzy. Podstawą tworzenia wysokowydajnych systemów HCI są badania i prace rozwojowe nad materiałami i urządzeniami sensorowymi o wysokiej czułości.

Materiały nanosensorowe to materiały funkcjonalne o strukturze w skali nano, charakteryzujące się wyjątkowymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi, takimi jak duża powierzchnia właściwa, duża przewodność, doskonała elastyczność mechaniczna oraz szybka reakcja³. W porównaniu z tradycyjnymi materiałami do pomiarów makroskopowych nanosensory potrafią przekształcać niewielkie bodźce zewnętrzne (takie jak ciśnienie, odkształcenie, drgania, temperatura i wilgotność) w wykrywalne sygnały elektryczne, umożliwiając precyzyjny pomiar w czasie rzeczywistym. W dziedzinie interakcji HCI elastyczne nanosensory znajdują szerokie zastosowanie w urządzeniach do noszenia, sprzęcie do wirtualnej rzeczywistości VR (*virtual reality*) i rzeczywistości rozszerzonej AR (*augmented reality*) oraz w inteligentnych terminalach interaktywnych, wykazując ogromny potencjał zastosowań w scenariuszach inteligentnej edukacji⁴⁻⁷. W ramach cyfrowego nauczania języka angielskiego nanosensory można wbudować w rękawiczki do noszenia na dłoni, zastosować jako czujniki drgań ust, inteligentne tablice do pisania oraz inne urządzenia, aby rejestrować ruchy palców uczniów, drgania związane z wymową, mimikę twarzy oraz dane dotyczące zachowań podczas nauki, zapewniając w ten sposób wsparcie w postaci danych do inteligentnej oceny nauczania oraz spersonalizowanych rekomendacji dotyczących ścieżki nauki⁸⁻¹².

Obecnie badania nad materiałami do nanosensorów koncentrują się głównie na przygotowywaniu materiałów, optymalizacji ich właściwości oraz zastosowaniach przemysłowych, natomiast badania interdyscyplinarne łączące się z cyfrowym nauczaniem języka angielskiego są stosunkowo rzadkie. W większości dotychczasowych badań pomija się kwestię dopasowania parametrów wydajnościowych nanosensorów do rzeczywistych scenariuszy nauczania języka angielskiego oraz brakuje w nich systematycznej analizy porównawczej różnych nanomateriałów stosowanych w edukacyjnych aplikacjach z zakresu HCI. Przedmiotem niniejszych badań był system HCI stosowany w cyfrowej nauce języka angielskiego, wybrano 3 typowe materiały nanosensorowe, systematycznie przeanalizowano ich właściwości sensoryczne, proces przygotowania oraz efekty zastosowania w scenariuszach nauczania języka angielskiego, stworzono tabele porównawcze właściwości oraz schematy systemowe, a także zbadano optymalną konfigurację nanomateriałów odpowiednią dla sprzętu HCI wykorzystywanego w cyfrowej nauce języka angielskiego.

Do badań wybrano 3 rodzaje materiałów nanosensorowych o doskonałej ogólnej wydajności i szerokich perspektywach zastosowań w dziedzinie HCI, obejmujące nanomateriały węglowe (kompozyt grafen/nanorurki węglowe), dwuwy-

Nanosensor materials are functional materials with nanoscale structural characteristics, which have unique physical and chemical properties such as large specific surface area, high conductivity, excellent mechanical flexibility and fast response speed³. Compared with traditional macroscopic sensing materials, nanosensors can convert tiny external stimuli (such as pressure, strain, vibration, temperature and humidity) into detectable electrical signals, realizing high-precision and real-time signal collection. In the field of HCI, flexible nanosensors have been widely used in wearable devices, virtual reality (VR)/augmented reality (AR) equipment and intelligent interaction terminals, showing great application potential in intelligent education scenarios⁴⁻⁷. In digital English teaching, nanosensors can be integrated into wearable gloves, oral vibration collectors, intelligent writing boards and other devices to capture learners' finger movements, oral pronunciation vibration, facial expressions and learning behavior data, providing data support for intelligent teaching evaluation and personalized learning path recommendation⁸⁻¹².

At present, the research on nanosensor materials mainly focuses on material preparation, performance optimization and industrial application, while the cross-research combined with digital English teaching is relatively insufficient. Most existing studies ignore the matching between nanosensor performance parameters and actual English teaching scenarios, and lack systematic comparative analysis of different nanomaterials in HCI education applications. Therefore, this paper takes the HCI system in digital English teaching as the research carrier, selects three typical nanosensor materials, systematically studies their sensing performance, preparation process and application effects in English teaching scenarios, constructs performance comparison tables and system schematic diagrams, and explores the optimal nanomaterial scheme suitable for digital English teaching HCI equipment.

Three kinds of nanosensor materials with excellent comprehensive performance and wide application prospects in HCI field are selected for research, which are carbon-based nanomaterials (graphene/carbon nanotube composite), two-dimensional MXene nanomaterials ($Ti_3C_2T_x$) and conductive polymer nanocomposites (polyaniline/cellulose nanofiber composite). These three materials have their own advantages in sensitivity, flexibility, cost and stability, and can adapt to different interaction scenarios in digital English teaching. The research results of this paper fill the gap in the cross-field of nanomaterials and digital foreign language education, and provide a feasible technical scheme for the innovation of intelligent English teaching equipment.

Experimental

Materials

Graphene/carbon nanotube (G/CNT) composite nanosensor was prepared by solution mixing and vacuum filtration

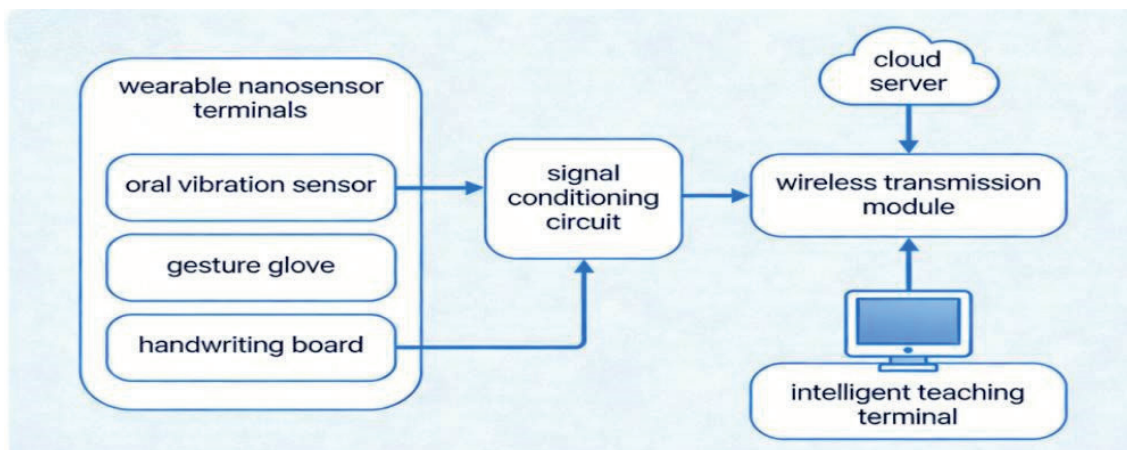


Figure. Schematic diagram of nanosensor-based HCI intelligent digital English teaching system, note: the diagram includes wearable nanosensor terminals (oral vibration sensor, gesture glove, handwriting board), signal conditioning circuit, wireless transmission module, cloud server and intelligent teaching terminal, showing the complete signal transmission and interaction process from nanosensor signal collection to intelligent English teaching application

Rysunek. Schematyczny diagram inteligentnego systemu cyfrowego nauczania języka angielskiego opartego na HCI z wykorzystaniem nanosensorów; schemat obejmuje noszone terminale z nanosensorami (czujnik drgań ust, rękawicę gestową, tablicę do pisania ręcznego), obwód kondycjonujący sygnał, moduł transmisji bezprzewodowej, serwer w chmurze oraz inteligentny terminal dydaktyczny, przedstawiając pełny proces transmisji sygnału i interakcji od zebrania sygnału z nanosensorów do inteligentnej aplikacji do nauczania języka angielskiego

miarowe nanomateriały MXene ($Ti_3C_2T_x$) oraz przewodzące nanokompozyty polimerowe (kompozyt polianilina/włókna nanocelulozowe). Te 3 materiały mają zalety pod względem wrażliwości, elastyczności, kosztów i stabilności oraz mogą być dostosowane do różnych scenariuszy interakcji w ramach cyfrowego nauczania języka angielskiego. Wyniki badań przedstawione w niniejszym artykule wypełniają lukę w dziedzinie łączącej nanomateriały i cyfrową edukację językową oraz przedstawiają realny plan techniczny dotyczący innowacji w zakresie inteligentnego sprzętu do nauki języka angielskiego.

Część badawcza

Materiały

Nanosensor kompozytowy grafen/nanorurki węglowe (G/CNT) został przygotowany metodą mieszania w roztworze oraz filtracji próżniowej. Tlenek grafenu i nanorurki węglowe zmieszano w wodzie zdejonizowanej w stosunku masowym 3:1, a następnie poddano dyspersji ultradźwiękowej przez 60 min w celu uzyskania jednolitej zawiesiny. Zawiesinę tę przefiltrowano na elastyczne podłoże z poli(tereftalanu etylenu) (PET) i poddano redukcji termicznej w temp. $200^{\circ}C$ przez 2 h, uzyskując przewodzącą, nanoczułą cienką warstwę G/CNT.

Nanosensoryczne arkusze MXene ($Ti_3C_2T_x$) zostały wytworzone metodą selektywnego trawienia. Prekursor Ti_3AlC_2 poddano trawieniu roztworem HF przez 24 h, kilkakrotnie przepłukano do uzyskania neutralnego odczynu, a następnie poddano obróbce ultradźwiękowej w celu uzyskania jednowarstwowych nanoarkuszy MXene. Dyspersję MXene naniesiono na elastyczne podłoże z hydrożelu metodą powlekania rotacyjnego, a następnie wysuszono w temperaturze pokojowej, uzyskując w ten sposób elastyczny nanosensor wrażliwy na nacisk.

method. Graphene oxide and carbon nanotubes were mixed in deionized water according to the mass ratio of 3:1, ultrasonic dispersion for 60 min to form a uniform suspension, then filtered onto a flexible polyethylene terephthalate (PET) substrate, and reduced by thermal reduction at $200^{\circ}C$ for 2 h to obtain conductive G/CNT nanosensitive thin film.

MXene ($Ti_3C_2T_x$) nanosensor nanosheets were prepared by selective etching method. The Ti_3AlC_2 precursor was etched with HF solution for 24 h, washed repeatedly until neutral, and then ultrasonic stripped to obtain single-layer MXene nanosheets. The MXene dispersion was coated on a flexible hydrogel substrate by spin coating method, and dried at room temperature to form a flexible pressure-sensitive nanosensor.

Polyaniline/cellulose nanofiber (PANI/CNF) composite nanosensor was based on cellulose nanofibers extracted from natural wood pulp, dispersed in deionized water to form a uniform suspension, converted by reaction with aniline monomer and in-situ polymerized under acidic conditions. The composite was coated on a flexible substrate to prepare a strain-sensitive nanosensor suitable for handwritten input.

Methods.

Performance test

The key performance parameters of nanosensors (pressure sensitivity, response time, recovery time, bending cycle stability, conductivity, biocompatibility) were tested by using a universal material testing machine, electrochemical workstation and signal acquisition system. The test environment was controlled at room temp. $25^{\circ}C$ and relative humidity of 45–55%, simulating the actual use environment of digital English teaching classrooms. In addition, the application effect of nanosensors in

Table 1. Key performance parameters of 3 typical nanosensor materials

Tabela 1. Główne parametry użytkowe 3 typowych materiałów stosowanych w nanosensorach

Nanosensor material/ Materiał nanosensorowy	Pressure sensitivity/ Czulość na ciśnienie, kPa^{-1}	Response time/ Czas reakcji, ms	Recovery time/ Czas powrotu, ms	Bending cycle stability, cycles/ Stabilność, liczba cykli zginania	Conductivity/ Przewodność, S/m
Graphene/CNT composite/ Kompozyt grafen/nanorurki węglowe	2.15	28	35	3500	1250
MXene ($\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$)	3.27	18	22	5200	1860
PANI/CNF composite/ Kompozyt PANI/CNF	1.43	45	58	2800	680

Table 2. Cost and biocompatibility analysis of nanosensor materials

Tabela 2. Analiza kosztów i biokompatybilności materiałów stosowanych w nanosensorach

Nanosensor material/ Materiał nanosensorowy	Preparation cost/ Koszt przygotowania, USD/m ²	Biocompatibility/ Biokompatybilność	Environmental stability/ Stabilność środowiskowa	Processing difficulty/ Trudność przetwarzania
Graphene/CNT composite/ Kompozyt grafen/nanorurki węglowe	18.5	good/ dobra	medium/ średnia	medium/ średnia
MXene ($\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$)	26.8	excellent/ doskonała	high/ wysoka	high/ wysoka
PANI/CNF composite/ Kompozyt PANI/CNF	8.2	medium/ średnia	low/ niska	low/ niska

Table 3. Adaptability of nanosensor materials to digital English teaching scenarios

Tabela 3. Możliwości dostosowania materiałów do nauczania z wykorzystaniem nanosensorów do scenariuszy nauczania języka angielskiego metodą cyfrową

English teaching scenario/ Scenariusz nauczania języka angielskiego	Core sensing demand/ Podstawowe wymagania sensoryczne	Optimal nanosensor material/ Optymalny materiał na nanosensory	Application effect evaluation/ Ocena skuteczności działania
Oral English pronunciation training/ Kurs wymowy języka angielskiego	vibration signal capture, high sensitivity/ rejestrowanie sygnałów drgań, wysoka czulość	MXene ($\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$)	accurate identification of pronunciation details, error rate <5%/ dokładne rozpoznanie szczegółów wymowy, poziom błędów <5%
English handwriting practice/ Ćwiczenia ortograficzne z pisania ręcznego w języku angielskim	strain sensing, flexible bending/ wykrywanie odkształceń, elastyczne zginanie	graphene/CNT composite/ kompozyt grafen/nanorurki węglowe	smooth handwriting tracking, recognition accuracy 96.7%/ płynne śledzenie pisma ręcznego, dokładność rozpoznawania 96,7%
Situational dialogue gesture interaction/ Interakcja oparta na dialogu sytuacyjnym i gestach	multi-directional strain detection, stability/ wykrywanie odkształceń wielokierunkowych, stabilność	MXene/graphene composite/ kompozyt MXene/grafen	real-time interaction delay < 30 ms, good experience/ opóźnienie interakcji w czasie rzeczywistym < 30 ms, dobre doświadczenie użytkownika
Low-cost classroom teaching terminal/ Niedrogi terminal do nauczania w klasie	lowcost, basic interaction/ niski koszt, podstawowa interakcja	PANI/CNF composite/ kompozyt PANI/CNF	meet basic teaching needs, cost-effective/ spełnia podstawowe potrzeby dydaktyczne, opłacalny kosztowo

Kompozytowy nanosensor polianilina/włókna nanocelulozowe (PANI/CNF) oparto na nanowłóknach celulozowych pozyskanych z naturalnej pulpy drzewnej, które zdyspergowano w wodzie zdejonizowanej w celu uzyskania jednorodnej zawiesiny, a następnie poddano reakcji z monomerem aniliny i polimeryzacji *in situ* w środowisku kwaśnym. Kompozyt naniesiono na elastyczne podłoże, otrzymując nanosensor czuły na odkształcenia, odpowiedni do rejestracji danych pisma ręcznego.

Metodyka badań

Test wydajnościowy

Kluczowe parametry eksploatacyjne nanosensorów (czulość na ciśnienie, czas reakcji, czas powrotu do stanu początkowego, odporność na cykle zginania, przewodność, biokompatybilność)

HCI-based English teaching system was verified by practical teaching experiments, with 60 college students as experimental subjects, divided into experimental group and control group, to compare the learning efficiency and interaction experience.

Results and discussion

Performance comparison of nanosensor materials

Three comparative tables were constructed to analyze systematically the performance parameters, cost characteristics and application scenario adaptability of the three nanosensor materials, providing a basis for material selection in digital English teaching HCI systems.

zostały zbadane za pomocą uniwersalnej maszyny do badań materiałów, stacji elektrochemicznej oraz systemu rejestracji sygnałów. Warunki testowe utrzymywano w temperaturze pokojowej (25°C) oraz wilgotności względnej 45–55%, symulując rzeczywiste warunki użytkowania w salach cyfrowego nauczania języka angielskiego. Ponadto skuteczność zastosowania nanosensorów w systemie nauczania języka angielskiego opartym na HCI została zweryfikowana w ramach praktycznych eksperymentów dydaktycznych, w których wzięło udział 60 studentów, podzielonych na grupę eksperymentalną i grupę kontrolną, w celu porównania efektywności nauki oraz wrażeń z interakcji.

Wyniki badań i ich omówienie

Porównanie wydajności materiałów stosowanych w nanosensorach

Opracowano 3 tabele porównawcze w celu systematycznej analizy parametrów wydajnościowych, charakterystyki kosztowej oraz dostosowania do różnych scenariuszy zastosowań 3 materiałów nanosensorowych, co stanowiło podstawę doboru materiałów w systemach HCI służących do nauczania języka angielskiego metodą cyfrową.

Nanosensory MXene charakteryzowały się najlepszymi ogólnymi parametrami eksploatacyjnymi, w tym najwyższą czułością na nacisk i przewodnością, najkrótszym czasem reakcji i powrotu do stanu wyjściowego oraz doskonałą stabilnością w cyklu zginania, co sprawia, że nadają się one do zastosowań wymagających wysokiej precyzji, takich jak wykrywanie drgań związanych z wymową oraz rejestrowanie drobnych ruchów palców (tabela 1). Nanosensory kompozytowe z grafenu i nanorurek węglowych zajmowały 2. miejsce dzięki zrównoważonej wydajności i umiarkowanym kosztom i nadają się one do typowych zastosowań związanych z interaktywnym wprowadzaniem danych. Nanosensory kompozytowe z PANI i nanorurek węglowych charakteryzowały się stosunkowo małą wydajnością, ale miały zalety w postaci ekologiczności i niskich kosztów, dzięki czemu nadają się do niedrogich inteligentnych terminali edukacyjnych.

Dane dotyczące kosztów i zdolności adaptacyjnych różnych nanomateriałów w zakresie ochrony środowiska przedstawiono w tabeli 2. Materiały MXene charakteryzowały się doskonałą biokompatybilnością, co sprawia, że nadają się do stosowania w trwałych, noszonych na ciele urządzeniach HCI do nauki języka angielskiego, jednak koszty ich wytworzenia były stosunkowo wysokie. Materiały kompozytowe PANI/CNF charakteryzowały się najniższym kosztem i prostym procesem wytwarzania, co sprzyja upowszechnieniu sprzętu dydaktycznego na szeroką skalę. Materiały na bazie grafenu i nanorurek węglowych charakteryzowały się równowagą między kosztami a wydajnością i mają duże znaczenie praktyczne.

Materiały nanosensorowe w konkretnych scenariuszach cyfrowego nauczania języka angielskiego porównano w tabeli 3 w celu określenia optymalnego wyboru materiału dla poszczególnych etapów procesu dydaktycznego. Nanosensory oparte na MXene były najlepszym wyborem dla scenariuszy o wysokich wymaganiach, takich jak trening mowy i interakcja

The MXene nanosensors have the best comprehensive performance, with the highest pressure sensitivity and conductivity, the shortest response and recovery time, and excellent bending cycle stability, which is suitable for high-precision interaction scenarios such as oral pronunciation vibration detection and finger fine movement capture (Table 1). Graphene/CNT composite nanosensors take the second place, with balanced performance and moderate cost, suitable for conventional interactive input scenarios; PANI/CNF composite nanosensors have relatively low performance, but have the advantages of green environmental protection and low cost, suitable for low-cost intelligent teaching terminals.

The data on cost and environmental adaptability of different nanomaterials were presented in Table 2. The MXene materials had excellent biocompatibility, which was suitable for long-term wearable HCI devices in English teaching, but the preparation cost was relatively high. The PANI/CNF composite materials had the lowest cost and simple preparation process, which was conducive to large-scale popularization of teaching equipment. The graphene/CNT materials showed a balance between cost and performance, and had strong practical value.

Nanosensor materials with specific digital English teaching scenarios were compared in Table 3 to clarify the optimal material selection for specific teaching links. MXene-based nanosensors were the best choice for high-demand scenarios such as oral training and gesture interaction, while PANI/CNF materials were suitable for large-scale popularization of basic teaching terminals.

Schematic diagram of HCI-based intelligent digital English teaching system

The overall structure of the intelligent digital English teaching system based on nanosensor HCI technology was shown on Figure. The system was mainly composed of 3 core modules: nanosensor sensing acquisition module, signal processing and transmission module, and intelligent teaching application module. The nanosensor module integrated flexible wearable sensors (oral vibration sensor, gesture sensing glove, handwriting pressure sensor) prepared by using the nanomaterials studied.

Conclusion

The application of nanosensor materials in human-computer interaction for digital English teaching was systematically studied and 3 typical nanomaterials for performance testing and comparative analysis were selected. Three core data tables and a complete system schematic diagram. The practical application effect through teaching experiments was verified. The results show that MXene-based flexible nanosensors have the best comprehensive performance, with a pressure sensitivity of 3.27 kPa⁻¹ and a response time of only 18 ms, which can efficiently realize

gestowa, a materiały PANI/CNF były odpowiednie do szerokiej popularyzacji podstawowych terminali dydaktycznych.

Schemat blokowy inteligentnego cyfrowego systemu nauczania języka angielskiego opartego na HCI

Ogólną strukturę inteligentnego cyfrowego systemu nauczania języka angielskiego opartego na technologii HCI z wykorzystaniem nanosensorów przedstawiono na rysunku. System składał się głównie z 3 podstawowych modułów: modułu pozyskiwania danych z nanosensorów, modułu przetwarzania i transmisji sygnałów oraz modułu inteligentnej aplikacji edukacyjnej. Moduł nanosensorowy zawierał elastyczne czujniki do noszenia na ciele (czujnik drgań jamy ustnej, rękawica wykrywająca gesty, czujnik nacisku podczas pisania ręcznego), wykonane z wykorzystaniem badanych nanomateriałów.

Wnioski

Przeprowadzono systematyczne badania nad zastosowaniem materiałów nanosensorowych w interakcji człowiek-komputer w ramach nauczania języka angielskiego metodą cyfrową oraz wybrano 3 typowe nanomateriały do celów testowania wydajności i analizy porównawczej. Opracowano 3 podstawowe tabele danych oraz kompletny schemat systemu. Skuteczność praktycznego zastosowania została potwierdzona w ramach eksperymentów dydaktycznych. Wyniki pokazują, że elastyczne nanosensory oparte na MXene charakteryzują się najlepszymi ogólnymi parametrami, wykazując czułość na ciśnienie wynoszącą $3,27 \text{ kPa}^{-1}$ oraz czas reakcji wynoszący zaledwie 18 ms, co pozwala skutecznie wdrażać precyzyjną analizę HCI w nauczaniu języka angielskiego metodą cyfrową. System HCI oparty na nanosensorach znacząco poprawia efektywność treningu mówienia w języku angielskim, nauki słownictwa oraz interaktywnych dialogów, a także podnosi ogólną jakość cyfrowego nauczania języka angielskiego. Materiały do produkcji nanosensorów, charakteryzujące się niezwykle wysoką czułością, elastycznością, szybką reakcją i doskonałą biokompatybilnością, otwierają nowe możliwości techniczne w zakresie optymalizacji interakcji podczas nauczania języka angielskiego z wykorzystaniem technologii cyfrowych.

Podziękowania

Projekt badawczy dotyczący reformy kształcenia i nauczania na poziomie studiów magisterskich w 2025 r.: Badania nad innowacyjnymi praktykami w zakresie wykorzystania sztucznej inteligencji w celu wspierania wysokiej jakości rozwoju publicznej edukacji w zakresie języka angielskiego na poziomie studiów podyplomowych (JG[2025]042).

Projekt badawczy 2025UT3HUF60040.

Program innowacji JG[2025]014.

high-precision HCI in digital English teaching. The nanosensor-based HCI system significantly improves the efficiency of oral English training, vocabulary learning and interactive dialogue, and enhances the overall quality of digital English teaching. Nanosensor materials, featured with ultra-high sensitivity, flexible mechanical properties, fast response speed and excellent biocompatibility, provide a new technical path for optimizing the interaction experience in digital English teaching.

Acknowledgment

2025 University-Level Graduate Education and Teaching Reform Research Project: Research on Innovative Practice of Artificial Intelligence Empowering the High-Quality Development of Postgraduate Public English Education (JG[2025]042).

Research Project on the Reform of Higher Education Teaching in Jilin Province: Exploration and Practice of Applying the Concept of Content-Language Integration to Foreign Language Education under the Background of New Liberal Arts and Big Foreign Languages (2025UT3HUF60040).

Beihua University Postgraduate Innovation Program: Analysis of the Phenomenon of Silence in Daily Conversations from the Perspective of Pragmatics; 2025 University-Level Graduate Education and Teaching Reform Research Project: Research on Innovation and Practice of Foreign Language Discipline Empowered by Large Language Models (JG[2025]014).

Received/Otrzymano: 24-03-2026

Reviewed/Zrecenzowano: 07-04-2026

Accepted/Zaakceptowano: 16-04-2026

Published/Opublikowano: 27-04-2026

REFERENCES/LITERATURA

- [1] H. Chen, Y. Li, Q. Zhang, *J. Intelligent Mater. Electronic Devices* 2024, **15**, No. 2, 45.
- [2] X. Liu, J. Zhao, *J. Foreign Language Educ. Technol.* 2023, **32**, No. 3, 78.
- [3] Y. Wang et al., *ACS Applied Nano Materials* 2025, **8**, No. 1, 1120.
- [4] W. Zhang, L. Wang, *Computer Appl. Educ.* 2024, **41**, No. 4, 98.
- [5] S. Zhao et al., *Nanotechnol. Rev.* 2024, **13**, No. 1, 567.
- [6] G. Tian, O. Darcy, *Int. J. Cont. Eng. Educ. Life-Long Learning* 2021, **31**, No. 1, 1.
- [7] L. D. Liang, B. C. Jiang, W. Y. Jia, *Educ. Teaching Forum* 2019, **8**, No. 18, 17.
- [8] Q. Wang, *China Computer Commun.* 2018, **17**, No. 21, 10.
- [9] Y. Wu, Z. Liu, M. Liu, *Peak Data Sci.* 2018, **7**, No. 1, 160.
- [10] X. Wang, X. Jiang, X. Li, *Education Teaching Forum* 2019, **18**, No. 26, 99.
- [11] Y. Yu, S. Zhao, L. Liu et al., *Bol. Tec./Tech. Bull.* 2017, **55**, No. 8, 310.
- [12] Y. Jia, X. Chen, *2nd Asia-Pacific Conf. on Image Processing, Electronics and Computers* 2021, 1056; doi.org/10.1145/3452446.3452699. Apr 25, 2021.