

## HybrIoT

Hybrid electrochromic materials for sustainable and high-performance IoT-displays

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Produktionstechnologien, Produktionstechnologien, China Kooperationen Ausschreibung 2023	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.02.2024	<b>Projektende</b>	31.01.2027
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2027	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	electrochromism; materials for electrochromism; electrochromic displays; digital transformation; Internet of Things		

### Projektbeschreibung

In der Ära der globalen Digitalisierung hat das Internet der Dinge, ein vernetztes Netzwerk von Geräten, welche Daten teilen, Branchen und das tägliche Leben revolutioniert. Im Kern der transformierenden Kraft des IoT liegt die entscheidende Rolle der Mensch-Maschine-Schnittstellen, HMIs, die es Menschen ermöglichen, mit IoT-gesammelten Daten zu interagieren und daraus einen Mehrwert zu ziehen (visuelle Darstellungen von Daten, Überwachung von Prozessen, Steuerung von Geräten). Dadurch sind Displays allgegenwärtig geworden und prägen unsere digitalen Erfahrungen und Interaktionen mit dem IoT. Die Verbreitung von HMIs jedoch mit sorgfältigen Nachhaltigkeitsüberlegungen einhergehen, insbesondere in Bezug auf den Energieverbrauch. ECDs bieten eine nachhaltige, ultra-niedrige Stromverbrauchslösung für IoT-HMI mit außergewöhnlicher Energieeffizienz (0,002 mW/cm<sup>2</sup>), ohne Hintergrundbeleuchtung, Kompatibilität mit flexiblen Substraten (f-ECDs) und dem AM, was eine nahtlose Integration und kostengünstige skalierbare Produktion ermöglicht. Es bestehen jedoch noch wesentliche Herausforderungen, die einer groß angelegten Produktion im Wege stehen, darunter: der Mangel an mehrfarbigen Hochleistungs-ECMs; die Notwendigkeit von industriegeeigneten Formulierungen, die für Tests in industriellen Prozessen und kommerziellen Geräten geeignet sind; das Fehlen optimierter und nachhaltiger f-ECD-Architekturen zur Verbesserung der Materialeistung; und unvollständige Überlegungen zu Nachhaltigkeit und gesellschaftlichen Auswirkungen. Die Bewältigung dieser Herausforderungen ist von größter Bedeutung, um die erfolgreiche Entwicklung und weitreichende Verbreitung von f-ECDs IoT-HMI zu ermöglichen. HybrIoT verfolgt einen umfassenden Ansatz, um diese Herausforderungen durch die Nutzung des gemeinsamen Fachwissens der Projektpartner anzugehen. Dieser Ansatz integriert mehrere Disziplinen, darunter Chemie, Materialwissenschaft, Geräteentwicklung, Produktion und Technologietransfer, um eine multidisziplinäre und intersektorale Zusammenarbeit bei der Entwicklung der nächsten Generation f-ECDs zu fördern. Konkret wird HybrIoT innovative hybride ECMs entwickeln, indem mehrfarbige organische PT-Polymere mit WO<sub>3</sub> QDs kombiniert werden. Diese Hybridisierung wird die Stabilitäts- und Umschaltzeitprobleme jedes einzelnen Materials angehen und zu einer synergistischen Kombination führen, die Leistungen von Interesse für kommerzielle Anwendungen liefern kann ( $\Delta T > 30\%$ ;  $5K$  Zyklen; Umschaltgeschwindigkeit  $< 5s$ ). Durch die Integration supramolekularer Wechselwirkungen (Pyridin Koordination) kann die Struktur des Hybrids an das Herstellungsverfahren angepasst werden, ohne dieses zu beeinträchtigen. Es wird ein asymmetrisches Fabry-Perot f-ECD hergestellt, das durch optische Interferenzeffekte eine weitere Bereicherung der Farbzustände des Hybrids ermöglicht und den Bedarf an

zusätzlichen synthetischen Bemühungen beseitigt. Die Verwendung von QDs, quasi 0D Partikel mit molekülähnlichen Eigenschaften, ermöglicht die Tintenformulierung des Hybrids für AM-Plattformen, um in industriellen Prozesslinien die groß angelegte Produktion von Vorführ-Matrixsystem f-ECDs zu testen. Die Integration mit anderen elektronischen Komponenten eines IoT Geräts wird schließlich deren Leistung als HMIs bewerten. Im Rahmen des gesamten Projektverlaufs wird das Konsortium bestrebt sein, Beurteilungen der Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen durchzuführen, um verantwortungsbewusste Innovation zu gewährleisten.

## Abstract

In the era of global digitalisation, the Internet of Things (IoT), an interconnected network of devices sharing data, has revolutionised industries and daily life. At the core of the IoT's transformative power lies the pivotal role of human machine interfaces (HMIs; i.e., displays), in enabling humans to interact with and derive value (e.g., visual representations of data, monitoring of processes, control devices, etc.) from IoT-collected data. As a result, displays have become ubiquitous, shaping our digital experiences and interactions with the IoT. However, the proliferation of displays must be accompanied by careful sustainability considerations, particularly regarding power consumption.

Reflective electrochromic displays (ECDs) offer a sustainable, ultra-low power IoT-HMI solution, with exceptional power efficiency (0.002 mW/cm<sup>2</sup>), no backlighting, compatibility with flexible substrates (f-ECDs) and additive manufacturing (AM) production (e.g., screen printing), enabling seamless integration and cost-effective, scalable production. However, critical challenges are yet hindering their large-scale use, including: i) the lack of multicoloured high-performance EC materials (ECMs), ii) the need for industry-compatible formulations suitable for testing in industrial processes and commercial devices, iii) the absence of optimised and sustainable f-ECD architectures to enhance material performance, and recyclability, and iv) incomplete sustainability and societal impact considerations. Addressing these challenges is of utmost importance to enable the successful development and widespread adoption of f-ECDs IoT-HMI.

The HybrIoT project takes a comprehensive approach to address these challenges by harnessing the collective expertise of the project partners. This approach integrates multiple disciplines, including chemistry, materials science, device engineering, and manufacturing, to foster a multidisciplinary and intersectoral collaboration in the development of the next generation f-ECDs. Specifically, HybrIoT will develop innovative hybrid ECMs by combining multicoloured pyridine functionalised polythiophene polymers (Pyr-PT) with tungsten oxide quantum dots (WO<sub>3</sub>-QDs). This mixing of materials addresses stability and switching time issues, resulting in a synergistic material, able to deliver performances of interest for commercial applications ( $\Delta T > 30\%$ ; cyclability  $> 5K$  cycles in f-ECDs; switching speed  $< 5$  sec). By integrating directing supramolecular interactions (i.e., Pyr coordination with WO<sub>3</sub>-QDs), the hybrid's structure can be tailored without affecting the manufacturing process. An asymmetric Fabry-Perot nanocavity-type f-ECD will be developed, allowing for further enriched colour states through optical interference effects, eliminating the need for additional materials. The use of QDs, quasi zero-dimensional particles with molecule-like properties, will enable ink formulation for AM platforms like screen printing, to create demonstration matrix ECDs, which will be integrated with other electronic components to simulate an IoT device of commercial interest (e.g., IoT shelf label), and evaluate their performance as HMIs.

Throughout the project, HybrIoT remains committed to conducting sustainability and social impact assessments, ensuring responsible innovation. The project considers the broader implications of its technology, taking into account environmental and societal factors and gender balance aspects.

## **Projektkoordinator**

- Universität Wien

## **Projektpartner**

- DI Dr. Friedrich Eibensteiner