

## **3D-Strukturierung von dünnen Oxid-Mehrfachschichten mit dem Ionenstrahl (3D-Domino)**

### **3D tailoring of all-oxide heterostructures by ion beams (3D-Domino)**

#### Summary (in German)

Ungewöhnliche Materialeigenschaften wie Supraleitung, der Metall-Isolator-Übergang, der Riesenmagnetwiderstand, oder Ladungs- und Orbitalordnung in Oxiden beruhen auf einem komplexen Wechselspiel von Ladungs-, Spin-, Orbital- und Gitter-Freiheitsgraden. Geringfügige strukturelle Veränderungen durch die Variation von Temperatur, Druck oder chemischer Umgebung beeinflussen dieses Gleichgewicht und so die Materialeigenschaften. Die Feinabstimmung dieser Wechselwirkungen hat sich jedoch als schwierig erwiesen. Demgegenüber hat sich „Defect engineering“ durch Ionenbestrahlung, das zu Dehnungen und elektronischen Störungen führen kann, als eine leistungsfähige Technik zur Feinabstimmung unzugänglicher komplexer Phasen von Oxid-Dünnschichten erwiesen. Im hier beantragten Vorhaben sollen konkret die magnetischen, elektrischen und ferroischen Eigenschaften von  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  und seiner Heterostruktur mit  $\text{BiFeO}_3$  durch Ionenbestrahlung moduliert werden. Durch die Verwendung von Lithographie und/oder fokussiertem Ionenstrahl kann 3D-Defekt-Engineering realisiert werden, wodurch die physikalischen Eigenschaften von  $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{BiFeO}_3$  maßgeschneidert werden können. Das Endziel ist es, eine solche abgestimmte Heterostruktur als Avenue für innovative Spintronik-Bauelemente zu untersuchen. Die Gruppe an der National Chiao Tung Universität verfügt über große Erfahrung in der Herstellung epitaktischer  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$ - und  $\text{BiFeO}_3$ - Dünnschichten. Die Gruppe am HZDR hat bereits erfolgreich dünne Filme mit unterschiedlicher Ionen und Energien bestrahlt. Auch die Detailcharakterisierung struktureller, magnetischer und elektrischer Filmeigenschaften wird am HZDR durchgeführt. Die Gruppe an der TU Chemnitz unterstützt dies durch spinpolarisierte Dichtefunktionalrechnungen, aus denen auf optimale Bedingungen für die Bildung magnetischer Defekte und ihre Auswirkung auf die Eigenschaften der  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$ -Schichten geschlossen wird. Das komplementäre Methodenspektrum der drei Gruppen wird so einen Pfad zu neuen Funktionalitäten von dünnen Oxid-Mehrfachschichten durch „3D-Strukturierung“ erschließen.

#### Summary (in English)

Inter-relations among charge, spin, orbital and lattice parameters are largely demonstrated in multi-functional oxide materials which exhibit a variety of exotic properties, ranging from superconductivity, insulator-metal transition, colossal magnetoresistance, charge ordering, and orbital ordering, etc. In particular, tilting a delicate energy balance in lattice interactions and kinetics, achieved by temperature, pressure or chemical control, may result in exotic phenomena in these systems. However, fine-tailoring such interactions has proven difficult. In

this context, defect engineering by ion irradiation, which can introduce strain and electronic disorder, has emerged as a powerful technique to fine tune inaccessible complex phases of oxide thin films. In this proposal, we aim at the modulation of the magnetic, electrical and ferroic properties of  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  and its heterostructure with  $\text{BiFeO}_3$  by ion irradiation. By employing lithography and/or focused ion beam, 3D defect engineering therefore tailoring physical properties of  $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{BiFeO}_3$  can be realized. The final goal is to exam such a tuned heterostructure as a venue of novel spintronics devices. The National Chiao Tung University group is well versed in the fabrication of the epitaxial  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  and  $\text{BiFeO}_3$  thin films. The group at HZDR has the possibility of irradiating these films with ions of different specimen and energies on demand. The detailed structural, magnetic and electric characterization will be performed using the techniques at HZDR. The group at TU Chemnitz will use spin-polarized electronic structure calculations with density functional theory (DFT) in understanding the changes. Therefore, the combination of scientists from these groups can establish a new pathway of 3D tailoring of oxide heterostructures useful for designing new functionalities.