

## Deutsche Kurzzusammenfassung.

Diese Arbeit untersucht das vielversprechende Potenzial von  $\text{Co}_2\text{Mn}$ -basierten Heusler-Legierungen für die Überbrückung der Lücke zwischen nichtlinearen magnonischen und spintronischen Anwendungen, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf der 100% spin-polarisierten Heusler-Legierung  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  liegt. Das übergeordnete Ziel positioniert diese Arbeit im Herzen der aktuellen Forschungsbemühungen zur Bewältigung heutiger gesellschaftlicher Herausforderungen besonders im Zusammenhang mit der zunehmenden Bedeutung der künstlichen Intelligenz und dem daraus resultierenden explosionsartigen Bedarf an Rechenleistung und unkonventionellen Rechenansätzen.

Ein wesentliches Potenzial für unkonventionelles Computing liegt im Bereich des Magnetismus, insbesondere in den Teilgebieten Magnonik und Spintronik, wo die intrinsische Nichtlinearität der Magnetisierungsdynamik enorme Möglichkeiten für eine natürliche Funktionalität jenseits der herkömmlichen CMOS-Technologie verspricht. Dabei konzentriert sich die Forschung in der Magnonik auf Spinwellen, die kollektiven Anregungen eines geordneten magnetischen Systems, und deren Anwendung für den Transport und die Verarbeitung von Informationen. Spintronische Anwendungen hingegen nutzen den spinabhängigen Elektronentransport in Form von Spinströmen und spinpolarisierten Strömen und deren Wechselwirkung mit der Magnetisierung eines Materials. In den letzten Jahren haben sich Subfelder in beiden Bereichen zunehmend auf die Nutzung der intrinsischen Nichtlinearität konzentriert, insbesondere in Richtung nichtlinearer Spinwellen-Dynamik in der Magnonik und Spinstrom-getriebener nichtlinearer Magnetisierungsdynamik in spintronischen Oszillatoren. Fortschritte in beiden Bereichen versprechen ein großes Potenzial für neuromorphe Computing-Ansätze. Dementsprechend verflechten sich die beiden Bereiche zunehmend, und einige vielversprechende Fortschritte zielen darauf ab, das „Beste aus beiden Welten“ zu vereinen. Dieser Wunsch nach einer Kombination bringt einige Herausforderungen und offene Forschungsfragen mit sich. Insbesondere das Konzept der Spinpolarisation und seine Auswirkungen in Kombination mit dem magnonischen Spintransport gewinnen für die Forschung an der Schnittstelle beider Bereiche zunehmend an Bedeutung – eine offene Frage, die auch angesichts des zuletzt gestiegenen Interesses an der Spinpolarisation von Altermagneten und ihren grundlegenden Auswirkungen besonders aktuell ist.

Ein ideales Modellsystem, das sich intrinsisch an der Schnittstelle zwischen Magnonik und Spintronik befindetet, sind halb-metall-magnetische Materialien, die aufgrund ihrer besonderen Bandstruktur eine vollständige Spinpolarisation aufweisen. Insbesondere die Heusler-Verbindung  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  verspricht großes Potenzial für nichtlineare Anwendungen, da sie wünschenswerte Schlüsselparameter mit der experimentell nachgewiesenen vollständigen Spinpolarisation sowie einer hohen Sättigungsmagnetisierung und einer rekordverdächtig niedrigen magnetischen Dämpfung für metallische Schichten kombiniert. Während auf der Seite der Spintronik bereits einige Untersuchungen an diesem Material durchgeführt wurden, sind auf der Seite der Magnonik noch kaum Forschungsarbeiten zu verzeichnen.

Vor diesem Hintergrund widmet sich diese Arbeit der Bewertung der Eignung der halbmetallischen Heusler-Verbindung  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  für nichtlineare magnonische und spintronische Anwendungen. Zu diesem Zweck werden mehrere Schlüsselaspekte untersucht, die zu einigen wichtigen Schlussfolgerungen führen:

- In einem mikrodimensionierten  $\text{Co}_2\text{MnSi}$ -Wellenleiter mit experimentell nachgewiesener 100% Spinpolarisation werden rekordverdächtig niedrige nichtlineare Schwellenleistungen erzielt.
- Es wird ein deutliches Anzeichen für eine selbstinduzierte nichtlineare Verschiebung beobachtet, die ein frequenzselektives Selbstverstärkungs-/Selbstbegrenzungsverhalten ermöglichen könnte, wie es in neuromorphen Anwendungen häufig angestrebt wird.
- Es wird eine erfolgreiche Mikrostrukturierung unter Beibehaltung einer einwandfreien  $L_{21}$ -Ordnung erreicht, die die Strukturierung bis hin zu den kleinsten vorgesehenen Strukturgrößen mit einer Wellenleiterbreite von  $w \approx 50$  nm demonstriert.
- Es wird ein signifikanter kubischer Anisotropiebeitrag bestimmt, der nicht nur die Bereiche der nichtlinearen Instabilität definiert, sondern auch auf einen nicht vernachlässigbaren Term zweiter Ordnung mit besonderen Auswirkungen auf die zu erwartenden Spinwellencharakteristika hinweist.

Mit diesen wichtigen Erkenntnissen festigt die Arbeit das Potenzial der 100% spinpolarisierten Heusler-Verbindung  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  als Modellsystem sogar im Nanobereich. Darüber hinaus ebnen die Ergebnisse den Weg für eine zukünftige Nutzung in hybriden magnonischen und spintronischen

Anwendungen und die Schlussfolgerungen skizzieren werden mehrere vielversprechende Perspektiven für zukünftige Forschungsarbeiten in dem neu begründeten Forschungsfeld der Halb-Metall-Magnonik.