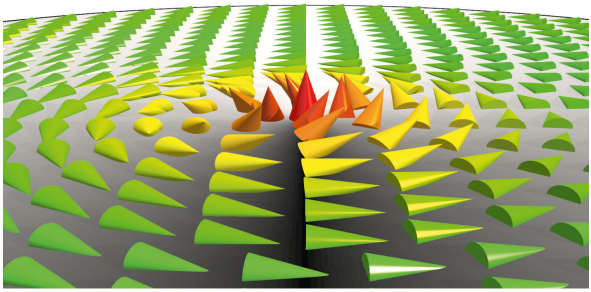
Matthias Noske (Autor)

Ultraschnelles Vortexkernschalten



Matthias Noske

Ultraschnelles Vortexkernschalten

Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

https://cuvillier.de/de/shop/publications/7144

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

Inhaltsverzeichnis

Summary v

Abkürzungsverzeichnis x

1 Einleitung 1

I Theoretische Grundlagen 5

2 Theorie des Mikromagnetismus 6
2.1 Einleitung 6
2.2 Magnetostatik: Energiebeiträge im Ferromagneten 7
2.2.1 Zeemann-Energie 8
2.2.2 Streufeldenergie 8
2.2.3 Austauschenergie 9
2.2.4 Anisotropieenergie 10
2.3 Magnetisierungsdynamik 11
2.3.1 Landau-Lifschitz-Gilbert Gleichung (LLG) 11
2.3.2 Spinwellen 15

3 Magnetische Mikrostrukturen und Vortizes 19
3.1 Domänenwände 19
3.2 Magnetische Domänenstrukturen 21
3.3 Magnetischer Vortex 24

4 Dynamische Anregungsmoden in Vortexstrukturen und Vortexkerninversion 27
4.1 Theoretische Behandlung 27
4.2 Die gyrotrope Eigenmode G_0 29

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.3 Magnetostatische Spinwellen in Vortexstrukturen 33
4.4 Frequenzaufspaltung bei Spinwellen aufgrund von Hybridisierung 37
4.5 Dynamische Vortexkerninversion 40

II Verwendete Techniken und Methoden 45

5 Röntgenmikroskopie 46
5.1 Die Synchrotronquelle und Strahlführung 47
5.1.1 Erzeugung von Synchrotronstrahlung 47
5.1.2 Zeitstruktur der Strahlung im Fall des BESSY II Speicherringes 50
5.1.3 Der elliptische Undulator 53
5.1.4 Strahlführung (Beamline) 56
5.2 Magnetischer Röntgenkontrast durch den XMCD-Effekt . . 57
5.3 Fokussierung von Röntgenstrahlen mit Fresnellinsen 61
5.4 Das Rasterröntgenmikroskop MAXYMUS 64
5.5 Statische XMCD Abbildungen von Vortexstrukturen 65

6 Zeitaufgelöste Röntgenmikroskopie 70
6.1 Komponenten des zeitauflösenden Messaufbaus 70
6.1.1 Einzelphotonendetektion mit der Avalanche Photodiode (APD) 70
6.1.2 Digitale Erfassung der Einzelphotonenereignisse . . . 72
6.1.3 Das FPGA System (Field Programmable Gate Array) 75
6.2 Ermittlung der realen Zeitauflösung 77
6.3 Unterschiedliche Messmodi 79
6.4 Weiterentwicklung der Messtechnik 82

7 Präparation und Charakterisierung der Vortexproben 87
7.1 Präparation 87
7.2 Charakterisierung 90
7.3 Hochfrequenzanregung 93

8 Mikromagnetische Simulationen 95
8.1 Verwendete Simulationsprogramme 95
8.2 Modenanalyse mittels lokaler Fouriertransformation 97

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

9 Experimentelle Bestimmung der magnetischen Materialparameter einer Vortexstruktur 101

III Experimente zum schnellen, gepulsten Vortexkernschalten 105

10 Vortexkernschalten durch quasi-resonante, gepulste Anregung: Gyromode 106
10.1 Prinzip 107
10.2 Messung des Schaltverhaltens 110
10.3 Aktives Abbremsen der Vortexkerngyration ("Quenching") . 111
10.4 Übergang vom Gyromodenschalten zu spinwellenbegleitetem Schalten durch Verkürzung der Pulslänge 111

11 Vortexkernschalten durch sub-100 ps Pulse: Spinwellenbegleitetes, unidirektionales Vortexkernschalten 113
11.1 Sub-100 ps Vortexkernschalten 113
11.1.1 Zeitaufgelöste Messung des Schaltvorgangs 119
11.1.2 Schaltgeschwindigkeit 121
11.1.3 Ursachen der Unidirektionalität: Spinwelleninterferenz und Hybridisierung 122
11.2 Ausblick: 2-Bit MRAM 133

IV Der Vortex und sein Kern in dreidimensionaler Betrachtung 137

12 Profil des Vortexkerns 139

13 Dreidimensionale Aspekte zur Vortexkerninversion 141
13.1 Blochlinien und Blochpunkte 141
13.2 Rolle des Blochpunktes beim sub-100 ps Schalten 144
13.3 Einfluss der Diskretisierung auf die Schaltschwelle 147

14 (Flexo-) Gyromoden höherer Ordnung 150
14.1 Generelle Betrachtungen 150
14.2 Hybridisierung der Gyromode G_0 mit den höheren Flexomoden 152
14.3 Hybridisierung von Spinwellen mit höheren Flexomoden . . 154

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

14.4 Senkrecht stehende Spinwellen (PSSWs) in Vortizes 158
14.5 Fazit 161

V Vortexdynamik mit magnetischen Tunnelelementen 163

15 Magnetische Tunnelelemente (MTJ) 164
15.1 Tunnelmagnetowiderstand 164

16 MTJ-Experimente an Vortex Proben 167
16.1 Präparation der MTJ-Proben 167
16.2 MTJ-Messtechnik 168
16.3 Vortexdynamik ohne Synchrotron 170

17 Zusammenfassung 176

VI Anhang 181

A Zur Landau-Lifschitz-Gilbert Gleichung 182

B Interne Funktionsweise des FPGA 184
B.1 Field Programmable Gate Arrays (FPGA) 184
B.2 Interne Programmstruktur des FPGA 186
B.3 Realisierung der Mehrkanal-Zähllogik 188
B.4 Hauptroutine des LabView-Messprogramms 190

C Präparation von Lamellen für TEM-Messungen 192

D Messung von Strukturen unterhalb der Rayleigh Auflösung 195

E Weitere Betrachtungen zur Hybridisierung von G_0 und G_1 198

Literaturverzeichnis 203

Abbildungsverzeichnis mit Quellenangaben 218

Liste der Veröffentlichungen 224

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.