

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung der beteiligten Übergänge bei der Frequenzverdopplung	9
2.2	Schematische Darstellung der möglichen Kerr-Geometrien	11
2.3	Einfallsebene, Polarisationen und Winkel an der Probenoberfläche	13
3.1	Schematische Darstellung des Kerr-Linsen-Effektes	19
3.2	Schematische Darstellung des aufgebauten Ti:Sa-Laseroszillators	24
3.3	Spektrum innerhalb des Ti:Sa-Laseroszillators	25
3.4	Interferometrische Autokorrelation	26
3.5	Schematische Darstellung des kommerziellen Lasersystems	27
4.1	Prinzipskizze des vorbereitenden Mikroskopaufbaus	30
4.2	Frontale und seitliche Prinzipskizze des SHG-Mikroskops	33
4.3	Aufsicht auf den SHG-Nachweis im Mikroskop	34
4.4	Experimentsteuerung des Mikroskops	36
4.5	Arbeitsabstand und Öffnungswinkel der Mikroskopobjektive	37
4.6	Minimaler Spotdurchmesser bei Verwendung der 50-fach Mikroskopobjektive	38
4.7	Hysterese an einer Ni-Bulkprobe	40
4.8	Entmagnetisierung einer Ni-Bulkprobe	41
4.9	SHG-Scans an entmagnetisierter Ni-Probe	42
4.10	SHG-Scans an in Sättigung magnetisierter Ni-Probe	43
4.11	SHG-Scans an erneut entmagnetisierter Ni-Probe	44
4.12	SHG-Bild der Oberfläche eines Si-Wafers	45
4.13	Einfallswinkelabhängigkeiten der effektiven Fresnelkoeffizienten einer isotropen Oberfläche	46
4.14	Einfallswinkelabhängigkeiten der effektiven Fresnelkoeffizienten der ungeraden Tensorkomponenten einer magnetisierten Oberfläche	47
4.15	SHG-Bild der Oberfläche einer magnetooptischen Diskette	47
4.16	Lineare Reflektivität und SHG einer CVD-Diamantprobe	49
4.17	Fluenzabhängigkeit der linearen Reflektivität eines 50 nm dicken Ge-Films auf Glas	50
4.18	Lineare Reflektivität des aktuellen 50 nm dicken Ge-Films auf Glas für verschiedene Pulsfluenzen	52

4.19	SHG-Rasteraufnahme eines laserbeschossenen 50 nm dicken Ge-Films auf Glas	53
4.20	Nach steigender Pulsfluenz geordnete SHG-Bilder der bestrahlten Bereiche eines 50 nm dicken Ge-Filmes	54
4.21	Schematische Darstellung der verschiedenen Schichten eines laserbeschossenen dünnen Ge-Films.	56
5.1	Skizze der UHV-Apparatur	62
5.2	Darstellung der Probe und der Magnetspulen im UHV	63
5.3	Skizze des Aufbaus für die zeitintegralen Messungen in der UHV-Kammer	64
5.4	Zeitintegrale p-P-Messung der SHG in Abhängigkeit der Lagendicke für Co/Cu(001)	66
5.5	Berechnete Zustandsdichten von Kupfer und Kobalt	67
5.6	Hysteresemessung an 3 ML Co/Cu(001)	68
5.7	Zeitintegrale s-P-Messung der SHG in Abhängigkeit der Lagendicke für Co/Cu(001)	70
5.8	Zeitintegrale Messung der SHG in Abhängigkeit der Lagendicke für Ni/Cu(001)	72
5.9	Berechnete Zustandsdichte von Nickel	73
5.10	Zeitintegrale s-P-Messung der SHG in Abhängigkeit der Lagendicke für Ni/Cu(001)	74
5.11	Hysteresemessungen an 7 ML Ni/Cu(001)	75
5.12	Hysteresemessung an 16 ML Ni/Cu(001)	75
5.13	Darstellung der geraden und ungeraden Anteile von $\chi^{(2)}$ in der komplexen Ebene	77
5.14	Prinzipskizze der Phasenmessung an Luft	78
5.15	Prinzipskizze der Phasenmessung in einer UHV-Kammer	80
5.16	Skizze des Aufbaus für die Phasenmessungen in der UHV-Kammer	82
5.17	Spektrum der zweiten Harmonischen von 7 ML Ni/Cu(001)	83
5.18	Spektrum der zweiten Harmonischen des Quarzreferenzkristalls	84
5.19	Modulierte Spektren der zweiten Harmonischen von 7 ML Ni/Cu(001) für p-P	85
5.20	Fouriertransformierte des Spektrums von 7 ML Ni/Cu(001)	86
5.21	Oszillierende Anteile der Spektren von 7 ML Ni/Cu(001) für p-P	86
5.22	Modulierte Spektren der zweiten Harmonischen und die oszillierenden Anteile von 7 ML Ni/Cu(001) für s-P	87
5.23	Modulierte Spektren der zweiten Harmonischen und die oszillierenden Anteile für Co/Cu(001)	90
6.1	Skizze des Aufbaus für die zeitaufgelösten Messungen in der UHV-Kammer	97
6.2	Kreuzkorrelation am Probenort	99

6.3	Pumpinduzierte Änderung der Ausbeute an zweiter Harmonischer an Cu(001)	102
6.4	Pumpinduzierte Änderung der Ausbeute an zweiter Harmonischer an Ni/Cu(001) für verschiedene Filmdicken	104
6.5	Pumpinduzierte Änderung der Ausbeute an zweiter Harmonischer an Ni/Cu(001) bei $t = 0.5$ ps.	105
6.6	Bedeckungsabhängigkeit der linearen Reflektivität von Ni/Cu(001) .	105
6.7	Zeitabhängigkeit der Ausbeute an zweiter Harmonischer für 7 ML Ni/Cu(001)	107
6.8	Zeitabhängigkeit der relativen Summen und Differenzen für 7 ML Ni/Cu(001)	108
6.9	Magnetisierungskurve für 8 ML Ni/Cu(001)	109
6.10	Pumpenergieabhängigkeit des Magnetisierungseinbruchs für 8 ML Ni/Cu(001).	111
6.11	Substrattemperaturabhängigkeit des Magnetisierungseinbruchs für 8 ML Ni/Cu(001).	112
6.12	Zeitabhängigkeit der Magnetisierung für 7 ML Ni/Cu(001) bei großen Verzögerungszeiten	113
6.13	Magnetisierungskurve für 2.1 ML Co/Cu(001)	115
6.14	Zeitabhängigkeit der normierten Summen und Differenzen für 2, 3 und 4 ML Co/Cu(001)	117
6.15	Zeitabhängigkeit des SHG-Signals für 3 und 4 ML Co/Cu(001) bei p-polarisierten Pumpimpulsen	118
6.16	Pumpinduzierte Änderung der Ausbeute an zweiter Harmonischer an 4 ML Ni/Cu(001)	119
6.17	Oszillationsfrequenz der Filme als Funktion der Filmdicke	121
6.18	Zeitabhängigkeit der Ausbeute an zweiter Harmonischer für 7 ML Ni/Cu(001)	122
6.19	Pumpinduzierte Änderung der Ausbeute an zweiter Harmonischer an 16 und 32 Ni/Cu(001)	123
6.20	Pumpinduzierte Änderung der Ausbeute an zweiter Harmonischer an 230 ML Ni/Cu(001)	123
6.21	Ausbreitungsgeschwindigkeit in Nickelfilmen auf Cu(001)	124
A.1	Prinzipskizze des Autokorrelators	133
B.1	Skizze des Aufbaus zur Messung der linearen Reflektivitäten	135
B.2	Lineare Reflektivitäten dünner Goldfilme	136
C.1	Verlängerung eines 15 fs langen Laserpulses.	142
C.2	Brechungsindex und dessen Ableitungen für Quarz.	143
C.3	Brechungsindex und dessen Ableitungen für Saphir.	144
C.4	Brechungsindex und dessen Ableitungen für SF11.	145

C.5	Brechungsindex und dessen Ableitungen für BK7.	146
C.6	Brechungsindex und dessen Ableitungen für Luft.	147
C.7	Prinzipskizze eines Prismenkompressors.	148

Tabellenverzeichnis

2.1	Gerade und ungerade Tensor­komponenten einer magnetisierten (001)- Oberfläche für verschiedene Polarisationskombinationen	14
4.1	Eckdaten der verwendeten Mikroskopobjektive	36
4.2	Leistungsdurchgang und Laserspotgrößen bei Verwendung der Mi- kroskopobjektive	39
4.3	Optische Konstanten und Eindringtiefen von amorphem und krista- linem Germanium	56
5.1	Ergebnisse der Phasenmessungen an 7 ML Ni/Cu(001)	88
5.2	Ergebnisse der Phasenmessungen an 5 ML und 12 ML Co/Cu(001) .	91
C.1	Koeffizienten für die Sellmeier-Gleichung	141
C.2	Längenspezifische Dispersionen zweiter und dritter Ordnung bei 800 nm	142

Verwendete Symbole und Konstanten

Symbole :

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	effektiver Fresnelfaktor für $\chi_{\text{even}}^{(2)}$	-
AA	Arbeitsabstand	m
α	Kohärenzparameter des Lasers	-
α_W	Dämpfungsfaktor	1/s
B	effektiver Fresnelfaktor für $\chi_{\text{odd}}^{(2)}$	-
β	kritischer Exponent	-
β	Dispersionswinkel im Prismenkompressor	°
c_{11}	Steifigkeitsmodulus	N/m ²
C	B/A für s-P-Polarisationskombination	-
d	minimaler Abstand	m
δ	Auflösungsvermögen	1/m
$\delta I^{\uparrow\downarrow}(2\omega, t)$	pumpinduzierte Änderung von $I^{\uparrow\downarrow}(2\omega, t)$	W/m ²
$\delta_{\omega, 2\omega}$	Eindringtiefen bei ω bzw. 2ω	m
$\delta\phi$	Phasendifferenz der Moden	°
δz	effektive Wechselwirkungslänge	m
δ_{sp}	relativer Phasenwinkel	°
$\Delta^{\pm}(t)$	normierte Summe/Differenz von $I^{\uparrow\downarrow}(2\omega, t)$	-
Δt	Zeitverzögerung	s
$\Delta\omega_{q, q+1}$	Frequenzabstand zweier Moden	Hz
$\Delta\tau$	Laserpulslänge	s
$\Delta\theta$	mittlere Bindungswinkelabweichung	°
$\Delta\Theta$	Phase zwischen $\vec{E}^{\uparrow}(2\omega)$ und $\vec{E}^{\downarrow}(2\omega)$	°

Symbol	Bedeutung	Einheit
$E_{2\omega,r}$	elektrisches Feld bei 2ω der Referenz	V/m
$E_{2\omega,s}$	elektrisches Feld bei 2ω der Probe	V/m
$E_{2\omega,tot}$	totales elektrisches Feld bei 2ω	V/m
\vec{E}	elektrischer Feldvektor	V/m
$\vec{E}^{\uparrow\downarrow}(2\omega)$	elektrisches Feld bei 2ω für $\vec{M}^{\uparrow\downarrow}$	V/m
$E_{k,l}$	Energie des Zustands k,l	J
\mathcal{E}	langsam veränderliche Totaleinhüllende	-
f	Brennweite	m
$f(E)$	Fermi-Dirac-Verteilungsfunktion	-
$\vec{f}(\omega)$	Fresnelfaktor für die Fundamentale	-
$\vec{F}(2\omega)$	Fresnelfaktor für die zweite Harmonische	-
$\mathcal{F}(t)$	Fouriertransformierte des Spektrums	-
g	Elektronen-Phononen-Kopplungskonstante	W/m ³ K
$g(t)$	langsam veränderliche Einhüllende	-
$G(\Delta\omega)$	Fouriertransformierte von $g(t)$	-
γ	Proportionalitätskonstante für $\chi_{\text{odd}}^{(2)}$	m/VG
$\Gamma/2$	Halbwertsbreite des a-Ge Ramanbandes	1/m
I	Lichtintensität	W/m ²
$I_{2\omega,r}$	Intensität bei 2ω der Referenz	W/m ²
$I_{2\omega,s}$	Intensität bei 2ω der Probe	W/m ²
$I_{2\omega,tot}$	totale Intensität bei 2ω	W/m ²
$I^{\uparrow\downarrow}(2\omega)$	Intensität bei 2ω für $\vec{M}^{\uparrow\downarrow}$	W/m ²
$I^{\uparrow\downarrow}(2\omega, t)$	zeitabhängige Intensität bei 2ω für $\vec{M}^{\uparrow\downarrow}$	W/m ²
$I_0^{\uparrow\downarrow}(2\omega)$	Intensität bei 2ω für $\vec{M}^{\uparrow\downarrow}$ ohne Pumpimpuls	W/m ²
$k_{\text{Cu,Ni}}$	elastische Kraftkonstanten	kg/s ²
k	Imaginärteil des Brechungsindex	-
l	Prismenabstand im Prismenkompressor	m
L	Materiallänge	m
λ	Wellenlänge	m
m	Masse	kg
$\vec{M}^{\uparrow\downarrow}$	Magnetisierung der Probe	G
n	Realteil des Brechungsindex	-
$n_{\omega,2\omega}$	komplexer Brechungsindex bei ω bzw. 2ω	-
n_{nl}	intensitätsabhängiger Brechungsindex	-
N	numerische Apertur	-
N	komplexer Brechungsindex bei 2ω	-

Symbol	Bedeutung	Einheit
ν	Frequenz	Hz
ω	Kreisfrequenz	Hz
ω_0	Zentralfrequenz	Hz
Ω	polarisiertes Volumen	m ³
\vec{p}	Einheitsvektor in p-Richtung	-
P	optischer Weg im Prismenkompressor	m
\vec{P}	Polarisation	C/m ²
$\vec{P}^{(n)}$	Polarisation n. Ordnung	C/m ²
ϕ	Phase zwischen $A\chi_{\text{even}}^{(2)}$ und $B\chi_{\text{odd}}^{(2)}$	°
φ	Polarisationswinkel der Fundamentalen	°
Φ	Analysatorwinkel für die SHG	°
$\Phi(\omega)$	Phasenänderung des elektrischen Feldes	-
Φ''	Gruppengeschwindigkeitsdispersion	s ²
Φ'''	Dispersion dritter Ordnung	s ³
Ψ_{kl}	Wellenfunktion des Zustands k,l	-
q	Photonenimpuls	kg m/s
ρ	magnetischer Kontrast	-
ϱ	Materialdichte	kg/m ³
\vec{s}	Einheitsvektor in s-Richtung	-
Σ	normierte Summe von $I^{\uparrow\downarrow}(2\omega, T)$	-
t	Verzögerungszeit	s
T	Temperatur	K
T_C	Curietemperatur	K
T_0	Anfangstemperatur	K
τ	Laserpulslänge	s
ϑ	Einfallswinkel	°
θ	Winkel zwischen Labor- und Kristallachsen	°
Θ	Phase zwischen $E_{2\omega,s}$ und $E_{2\omega,r}$	°
Θ_{max}	maximaler Öffnungswinkel	°
v_g	Gruppengeschwindigkeit	m/s
v_l	Schallgeschwindigkeit	m/s
$\chi^{(1)}$	dielektr. Suszeptibilität 1. Ordnung	-
$\chi^{(2)}$	dielektr. Suszeptibilität 2. Ordnung	m/V
$\chi_{ijk}^{(2)}$	Tensorkomponente von $\chi^{(2)}$	m/V
$\chi_{\text{even/odd}}^{(2)}$	gerader/ungerader Anteil von $\chi^{(2)}$	m/V
z	Materialdicke	m

Konstanten :

Symbol	Bedeutung	Wert	Einheit
c	Vakuumlichtgeschwindigkeit	$2.9979 \cdot 10^8$	m/s
e	Elementarladung	$1.6022 \cdot 10^{-19}$	C
h	Plancksches Wirkungsquantum	$6.6261 \cdot 10^{-34}$	Js
m_u	atomare Masseneinheit	$1.6605 \cdot 10^{-27}$	kg
μ_B	Bohrsches Magneton	$9.2740 \cdot 10^{-24}$	J/T