



Newsletter Nr. 4

Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe der Universität des Saarlandes
 Material Engineering Center Saarland (MECS)
 Europäische Schule für Materialforschung (EUSMAT)

© Oliver Dietze

Selbstfortschreitende Reaktionen zum Fügen temperatur-sensibler Bauteile – Ein zündendes Verfahren!

Materialwissenschaftler der Universität Saarbrücken (UdS) arbeiten an einem metallurgischen Fügeverfahren für temperatursensible Baugruppen. Basis hierfür ist ein DFG-Forschungsprojekt zu selbstfortschreitenden Hochtemperaturreaktionen im System Ruthenium-Aluminium.

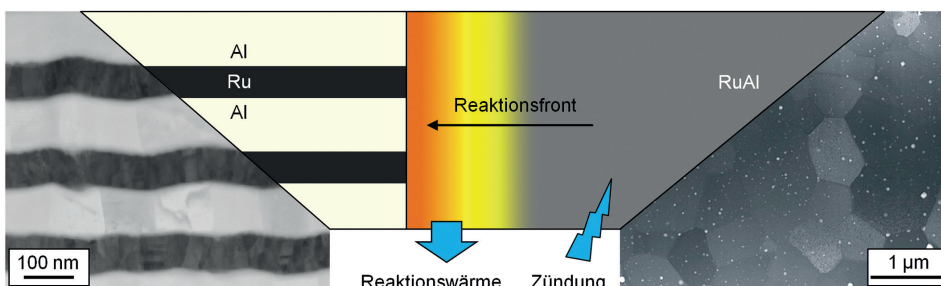
Ein elementarer Prozessschritt bei der Herstellung von Solaranlagen ist die elektrisch leitende Verbindung der einzelnen Solarzellen. Oft geschieht dies durch Löten, wodurch sich sowohl der metallische Leiter als auch die Siliziumzelle aufheizen. Beim Abkühlen können wegen der unterschiedlichen Temperaturexpansion beider Materialien Risse entstehen, die die Stabilität und den elektrischen Wirkungsgrad der Solaranlage verschlechtern. Bei dieser und ähnlichen Anwendungen im Bereich der Elektronik ist es daher entscheidend, metallische Fügeverfahren mit möglichst geringer Temperaturbelastung zu entwickeln.

derheit dar. Die intermetallische Phase RuAl beinhaltet sehr viel weniger Energie, als die beiden getrennten metallischen Komponenten in gleicher Menge. Diesen Effekt machen sich die Forscher zu Nutze, indem sie hauchfeine Multischichtfolien aus Ruthenium und Aluminium erzeugen. Zündet man den Rand dieser Folie etwa durch einen elektrischen Funken, so bildet sich blitzartig die intermetallische Phase RuAl mit Reaktionsgeschwindigkeiten von bis zu 10 m/s. Innerhalb von Sekundenbruchteilen wird hierbei ein enormes Maß an Wärme freigesetzt und die Folie heizt sich auf bis zu 2000 °C auf. Die entstehende RuAl-Phase ist sehr gut leitfähig und weist im Vergleich zu anderen metallischen Reaktivschichten eine höhere Duktilität auf.

Zum Fügen kann diese Folie zwischen zwei Materialien gepresst und am Rand gezündet werden. Die zum Aufschmelzen notwendige Wärme wird auf diese Weise kontrolliert an der richtigen Stelle eingebracht. Die Wissenschaftler haben bereits herausgefunden, dass sich die Reaktionsgeschwindigkeit und die freigesetzte Wärme durch die Dicke und Anordnung der Multischichten steuern lassen. Das Verfahren wurde als deutsches Patent (Nr. 102010060937.4) angemeldet.



Für die Materialwissenschaftler **Dipl.-Ing. Christoph Pauly** (UdS) und Dr.-Ing. Karsten Woll (ehemals Saarbrücken, nun Karlsruhe) stellt das Materialsystem Ruthenium-Aluminium aus mehreren Gründen eine echte Beson-



Multischicht-Ausgangssystem, Reaktionsablauf und entstehende RuAl-Phase

Editorial

Liebe Leserinnen und Leser

ich freue mich, Ihnen den aktuellen Newsletter unseres Instituts vorzulegen.



Wir informieren Sie über den Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe, ausgewählte Forschungsthemen und die Menschen, die daran arbeiten. Wir berichten über internationale Studienmöglichkeiten, koordiniert durch die Europäische Schule für Materialforschung (EUSMAT) der Fachrichtung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Und wir stellen Ihnen ausgewählte Aktivitäten des Steinbeis-Forschungszentrums MECS vor, das sich werkstofftechnischen Industriekooperationen widmet. Unser Gebäude mitten auf dem Campus beherbergt diese drei Einrichtungen und schafft damit nicht nur optimale Arbeitsbedingungen, sondern auch Raum für personelle Synergien durch Aktivitäten der Mitarbeiter der verschiedenen Einrichtungen. Das Schülerlabor (sam) der Fachrichtung ist ein weiteres Beispiel gemeinsamer Arbeit.

Haben Sie Anregungen und Hinweise? Wir freuen uns über Ihr feedback unter fuwe-news@matsci.uni-sb.de.

Viel Spaß bei der Lektüre wünscht Ihnen

Ihr Frank Mücklich

Institutsleiter

Saarbrücken,
 März 2015



Inhalt

Konferenzbeiträge 2015, Kupfer gegen Keime, M&M-Tagung	Seite 2
Ministerpräsidentin im Schülerlabor, Alumni-Treffen	Seite 3
Preise, Abschlussarbeiten und Publikationen	Seite 4

- 30.03. | MNU-Bundeskongress | Saarbrücken
 12.-16.04. | Wear of Materials | Toronto
 20.-22.04. | BioMAT | Weimar
 20.-24.04. | International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (CMCTF) | San Diego
 11.-14.05. | Microstructural Characterization of Aerospace Materials and Coatings (MCAMC) | Long Beach
 19.-21.05. | International Conference on Progress in Analytical Chemistry & Materials Characterisation in the Steel and Metals Industries (CETAS) | Düsseldorf
 10.-12.06. | SMT29 | Kopenhagen
 22.-26.06. | International Conference on Diffusion in Solids and Liquids (DSL) | München
 06.-08.07. | Festkörperanalytik (FKA18) | Wien
 06.-10.09. | International Conference on Diamond and Carbon Materials (ICDCM) | Bad Homburg
 30.08.-03.09. | European Conference on Biomaterials (ECB) | Krakau
 14.-17.09. | Werkstoffwoche | Dresden
 20.-24.09. | European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes (EUROMAT) | Warschau
 11.-14.10. | Holm Conference on Electrical Contacts (IEEE) | San Diego
 16.11. | International Conference on Innovations in Thin Film Processing and Characterization (ITFPC) | Nancy



Geförderte Forschungsprojekte

- Untersuchung des Einlaufverhaltens von laserstrukturierten metallischen Oberflächen unter trockenen Bedingungen (2013-15) DFG: MU959/30-1
 Ternäre Reaktivschichten auf Basis Ru/Al (2014-16) DFG-MU959/36-1
 Steuerbare Reibung in geschmierten Systemen durch Multi-Skalen Strukturierung mittels Laser-Interferenz und Mikroprägen (2015-17) DFG: MU959/27-2
 Synthese und tribologische Untersuchung von durch Kohlenstoffnanoröhrchen, Kohlenstoffnanozwiebeln und Nanodiamanten verstärkten Nickelmatrixkompositen (2015-17) DFG: MU959/38-1
 Verschleißschutz im Wälzlager durch Reaktionsschichtbildung bei minimaler Additivkonzentration und mikrotexturierten Oberflächen (2015-17) DFG: GA1706/2-2

Metallographie und Mikrostruktursymposium der M&M 2014

Die jährliche „Microscopy and Micoanalysis“-Konferenz (M&M) gilt mit über 1000 wissenschaftlichen Beiträgen sowie Ausstellern und mehr als 2.700 Besuchern als die größte, internationale Veranstaltung zum Thema Mikroskopie und Mikrostrukturanalyse. Im August 2014 fand sie in Hartford, Connecticut statt. Das Metallographie-Symposium „Practical Applications and Analytical Trends of Metallography and Microstructure“ wurde von Prof. Mücklich gemeinsam mit der Metallographin Frauke Hogue organisiert. Die Eröffnung der Session übernahm **Dipl.-Ing. Dominik Britz** als invited student speaker mit einem Vortrag, der die Brücke zwischen klassischer Metallographie und hochauflösender Mikroskopie schlug. Auch die weiteren, hochkarätigen Beiträge, wie z.B. von George Van der Vort, machten deutlich, dass die Materialographie nach wie vor ein spannendes, aktuelles Arbeitsgebiet der Materialwissenschaft darstellt. Nicht nur methodische Weiterentwicklungen, sondern

auch neue, vielschichtige Fragestellungen, speziell bei der Analyse von 3D-Gefügestrukturen, standen im Fokus. Die kommende „M&M“ 2015 wird mit nicht weniger spannenden Inhalten vom 03.08.-07.08.2015 in Portland, Oregon, stattfinden. Einige der diesjährigen Beiträge sind in der bilingualen Fachzeitschrift „Practical Metallography“ (Herausgeber Prof. Mücklich) zu finden. www.hanser-elibrary.com/loi/pm

Practical Metallography
 Praktische Metallographie



Dominik Britz, Prof. Mücklich, Dr. Panzenböck (Uni Leoben) und Michael Engstler am Konferenzabend

Kupferwerkstoffe als Lebensretter

Materialforscher landen mit Nanostruktur-Experimenten zur bakterientötenden Wirkung von Kupfer auf dem Cover der „Applied and Environmental Microbiology“

Bereits vor über 4.000 Jahren wurde im antiken Ägypten Kupferpulver zur Wunddesinfektion eingesetzt. Heute weiß man, dass Bakterien, Viren und sogar Pilze durch Kupfer schnell und effektiv abgetötet werden. Kupferlegierungen werden inzwischen als antimikrobielle Funktionswerkstoffe in Krankenhäusern eingesetzt, um gefährliche Infektionen zu bekämpfen, durch die weltweit ca. 30 Millionen Menschen pro Jahr sterben. Die vielversprechende Strategie besteht darin, Oberflächen in regelmäßigem Hautkontakt (z.B. Türgriffe) mit Kupfer auszustatten, damit diese nicht zum Übertragungsreservoir für Krankheitskeime werden.



Am Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe untersucht **Dipl.-Ing. Michael Hans** die Ursachen der bakterientötenden Wirkung von metallischem Kupfer. Dies geschieht in Laborversuchen, bei denen das Überleben von Bakterien auf maßgeschneiderten Kupferoberflächen

beobachtet wird. So hat man festgestellt, dass Bakterien wesentlich langsamer absterben, wenn der direkte Kontakt zur metallischen Kupferoberfläche durch Nano-Abstandshalter unterbunden wird. Dies ist überraschend, da man bisher davon ausging, dass nur die Menge der aus dem Metall gelösten Kupferionen für das Abtötungsverhalten entscheidend ist. Gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt wollen die Saarbrücker Wissenschaftler in einem bei der ESA beantragten Projekt nun auch erforschen, ob Kupferwerkstoffe zur Bekämpfung von gefährlichen Biofilmen in isolierten Raumstationen eingesetzt werden können.



Saarbrücker cover der „Applied and Environmental Microbiology“ (79,8): Bakterien auf Nano-Abstandsstrukturen

Ministerpräsidentin Annegret Kramp-Karrenbauer im Schülerlabor Advanced Materials (SAM)



Rund 100 Millionen gebrauchte Handys liegen in Deutschlands Schubladen. Jedes enthält Spuren von Gold und Silber, etliche Gramm Kupfer und seltene Erden. Warum diese Wertstoffe in den Produktkreislauf gehören, lernen Jugendliche im Schülerlabor der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik an der Universität des Saarlandes. Sie zerlegen dort ihre alten Handys und analysieren die Inhaltsstoffe mit Hilfe von Magneten, Mikroskopen und präzisen Trennmaschinen. Dabei erfahren sie mehr über Metalle, Kunststoffe und seltene Erden und verstehen, warum das Handyrecycling aufwändig ist. Mit dem neuen Angebot für Schulklassen begleitet das Schülerlabor Advanced Materials (SAM) die „Handykampagne“ der Landesregierung, im Rahmen dessen Ministerpräsidentin Annegret Kramp-Karrenbauer Rohstoffboxen an das Schülerlabor übergab. Pia Kockler, die als Lehrerin der Gemein-

schaftsschule Kleinblittersdorf das Schülerlabor durchgehend betreut, und Prof. Frank Mücklich freuten sich sehr über den Zuspruch. Gesponsert wurde die Aktion von der Deutsche Telekom Technik GmbH, deren stellvertretender Vorsitzender Dr. Fritz Lauer die Übergabe begleitete. Infos zum Schülerlabor: www.schuelerlabor-sam.de



Pia Kockler und Frank Mücklich (li.) nehmen die Rohstoffboxen von Annegret Kramp-Karrenbauer und Fritz Lauer in Empfang (re.)

Keeping in touch - Alumnitreffen des Lehrstuhls und Steinbeis Forschungszentrums



Ehemalige und aktuelle Mitarbeiter des Instituts

Unter dem Motto „20 Jahre Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe und 5 Jahre Material Engineering Center Saarland“ fand das erste Alumnitreffen des Instituts statt. Für viele ehemalige Mitarbeiter war dies eine willkommene Gelegenheit, wieder für einen Tag an der Universität und in dem inzwischen neuen Institutsgebäude einzukehren. An Motivation, sei diese nun wissenschaftlichen oder nostalgischen Ursprungs oder der reinen Neugier geschuldet, mangelte es nicht: Ein Alumni reiste sogar aus China an. Für die aktuellen Mitarbeiter des Instituts war es spannend, die Vielfalt der Karrierewege ihrer Kollegen zu erleben, ob Professorenlaufbahnen (Prof. Andrés Lasagni, Uni Dresden), Werksaufbau

und -leitung (Dr. Fayou Yu, Alpla Plastic Co., China), Materialforschung in den Bereichen Metall, Keramik und Kunststoff (Dr. Sylvia Hartmann, Eberspächer; Dr. Jochen Rager, Bosch; Dr. Danka Katakova, Hydac) oder Beratung für hochkarätige Forschungsanträge (Dipl.-Ing. Paula Souza, Uni Luxemburg), um nur ein paar Beispiele zu nennen. So wurden natürlich auch neue Synergien zu momentanen Projekten des Lehrstuhls und Industriekooperationen mit dem MECS hergestellt. fuwe.uni-saarland.de
www.mec-s.de



Projekte

Start der Universitätsgesellschaft

Ziel der 2014 neu gegründeten Universitätsgesellschaft des Saarlandes ist die Förderung und Mitgestaltung der akademischen Strukturen im Saarland. Dr. Hanno Dornseifer, neuer Präsident, und Prof. Mücklich, neuer Geschäftsführer der Gesellschaft, wollen hierzu ein ausgedehntes Netzwerk aus Wissenschaftlern, Mitarbeitern und Ehemaligen der Universität aufbauen. Konkret setzt sich die Gesellschaft beispielsweise mit Stipendien und unbürokratischer Hilfe für hervorragende Studenten ein. Eine Mitgliedschaft ist bereits ab 10 €/Jahr möglich. www.uni-saarland.de/unigesellschaft



Bildquelle: Pasquale D'Angiolillo

(v.l.n.r.) Prof. Mücklich, Prof. Scheer, Unipräsident Linneweber und der frühere VSE-Vorstand Tim Hartmann bei der Gründungsveranstaltung der Universitätsgesellschaft.



Universitätsgesellschaft
des Saarlandes

Förderung für internationale Projekte

Die Europäische Schule für Materialforschung (EUSMAT), der Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe und das Material Engineering Center Saarland (MECS) erhalten im Rahmen des „Research and Innovation Staff Exchange“ (RISE) von Horizon2020 eine Förderung von insgesamt 280.000 €. **Dr. Flavio Soldera**, Geschäftsführer von EUSMAT und erfolgreicher Antragsteller, wird damit das Projekt CREA-Te-Net vorantreiben. In diesem arbeiten 6 europäische und 6 außereuropäische Einrichtungen aus Südamerika, Südafrika und den USA an ressourceneffizienten Anwendungen und Technologien für Kompositmaterialien zusammen. www.eusmat.eu



Dörrenberg Studienaward



Für seine Bachelorarbeit wurde **Johannes Webel** mit dem mit 2.000 € dotierten Dörrenberg Studienaward 2014 zum Thema Stahl ausgezeichnet. In seiner Arbeit befasste er sich mit der Entwicklung einer seriellen Schnitttechnik für lichtmikroskopische Materialtomographien, durch die die innere Struktur von Werkstoffen abgebildet werden kann.

VDI-Preis



Dipl.-Ing. Andreas Hegetschweiler erhielt den vom VDI ausgeschriebenen Preis für die beste Diplomarbeit 2014. Thema seiner Arbeit war die systematische und korrelative Untersuchung von Struktur- und Färbätzungen an niedriglegierten Stählen.

Editor in Chief



Dr. Carsten Gachot wurde zum neuen Chefredakteur der Zeitschrift „Industrial Lubrication and Tribology“ (Emerald Publishing Group London/Leeds UK) ernannt. Das peer review

Journal befasst sich traditionell mit Schmier- und Reibungstechnik, Verschleiß und hat einen hohen Anwendungsbezug. Carsten Gachot leitet die Arbeitsgruppen Tribologie und Laser am Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe.

Gastwissenschaftler 2014

Prof. Cesar Barbero, Universidad Nacional de Río Cuarto (ARG)

Prof. Sonja Brühl, Universidad Tecnológica Nacional (ARG)

Prof. Itzhak Green, Georgia Institute of Technology (USA)

Prof. George Ty Wan & Prof. Lawrence Li, City University Hong Kong (CHN)

Prof. Frank Talke, University of California (USA)

Prof. Stephen Hsu, George Washington University (USA)

Prof. Kenneth Holmberg, VTT Helsinki (FIN)

Prof. Estéban Ramos & Prof. Donovan Díaz, Universidad Católica de Chile (CHL)

Impressum

Herausgeber: Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe der Universität des Saarlandes und Material Engineering Center Saarland (MECS)
Universität des Saarlandes | Campus | Gebäude D3 3 D - 66123 Saarbrücken | Tel.: 0681 - 302 70 500
E-Mail: fuwe-news@matsci.uni-sb.de

Redaktion: M. Hans, I. Reinersmann, D. Britz, F. Mücklich
Redaktionsschluss: März 2015

Gestaltung: Christine Tophoven

Studien-/Bachelorarbeiten

Maita Roberts: Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Ferrit mittels mikromechanischer Druckversuche

Lukas Engel: Erzeugung und Charakterisierung laser-induzierter Schädigungszonen im Bereich kurzer und ultrakurzer Pulsdauern

Adrian Thome: Quantitatives Adhäsionsverhalten von Bakterien während Abtötungsversuchen auf antimikrobiellen Oberflächen

Selina Dietz: Laserstrukturierung von Wolfram- und Edstahlflächen unter verschiedenen atmosphärischen Bedingungen und deren Einfluss auf die Benetzung

Simon Bettscheider: Experimentelle Bestimmung der realen Kontaktfläche und des Festkörpertraganteils unter Mischreibungsbedingungen

Diplom-/Masterarbeiten

Mostafa Ismail: Quantitative microstructural characterization of chain steel structure

Philipp Grützmaier: Design eines Prüfstandes zur Charakterisierung der Schmierstoffausbreitungsdynamik auf texturierten, metallischen Oberflächen

Axel Bravo Muttló: Application of multiwall carbon nanotubes to increase the wear resistance of electrical contacts

Saad Ahmed Khan: Characterization and tribological testing of textured surfaces under mixed lubrication

Nils Harste: Objektive Gefügeklassifizierung von Dualphasenstählen mittels Data-Mining

Jessica Fries: Einsatzpotential des EsB-Detektors in der Gefügeanalyse von Dual- und Mehrphasenstählen

Dominic Rathmann: Systematische Methodenentwicklung zur tiefenabhängigen röntgenographischen Eigenspannungsanalyse an Gusseisen mit Lamellengraphit

Doktorarbeiten

Andreas Rosenkranz: Tribologie an Oberflächen mit maßgeschneidertem topographischen Design

Sebastián Suárez Vallejo: Development of carbon nanotube reinforced nickel matrix composites – processing, microstructure and physical properties

Maria Agustina Guitar: Design of new protective systems based on the intermetallic compound RuAl

Brice Raillard: Design of steel surface and wetting properties by laser patterning

Peer Review Publikationen

A. Rosenkranz, S. Jaeger, C. Gachot, S. Vogel, F. Mücklich „Wear behavior of laser-patterned piston rings in squeeze film dampers“ Adv. Eng. Mater. (2015)

S. Suárez, F. Lasserre, F. Soldera, R. Pippan, F. Mücklich „Microstructural thermal stability of CNT-reinforced composites processed by severe plastic deformation“ Mat. Sci. Eng. A 626(-), 122-127 (2015)

A. Rosenkranz, H. Aboufadi, M. Pfaff, F. Mücklich, C. Motz „Oxide formation, morphology and nanohardness of laser-patterned steel surfaces“ Mat. Char. (2015)

A. Bachmaier, H. Aboufadi, M. Pfaff, F. Mücklich and C. Motz „Structural evolution and strain induced mixing in Cu–Co composites studied by transmission electron microscopy and atom probe tomography“ Mat. Char. 100(-), 178-191 (2015)

J. H. Li, J. Barrirero, M. Engstler, H. Aboufadi, F. Mücklich,

P. Schumacher „Nucleation and Growth of Eutectic Si in Al-Si

Alloys with Na Addition“ Metallurg. Mat. Transact. A 46(3), 1300-1311 (2015)

M. Martinez Miró, M. Veith, J. Lee, F. Soldera, F. Mücklich, R. Bennewitz, C. Aktas „3D and 2D structural characterization of 1D Al/Al₂O₃ biphasic nanostructures“ J. Microscopy (2015)

Y. Wang, J. Ghanbaja, F. Soldera, S. Migot, P. Boulet, D. Horwat, F. Mücklich, J.F. Pierson „Tuning the structure and preferred orientation in reactively sputtered copper oxide thin films“ Appl. Surf. Sci. (2015)

K. Yalamanchili, I.C. Schramm, E. Jiménez-Piqué, L. Rogström, F. Mücklich, M. Odén, N. Ghafoor „Tuning hardness and fracture resistance of ZrN/ZrO₂Al_{0.37}Ni nanoscale multilayers by stress-induced transformation toughening“ Acta Mater 89(-), 22-31 (2015)

S. Suarez, A. Rosenkranz, C. Gachot, F. Mücklich „Enhanced tribological properties of MWCNT/Ni bulk composites – Influence of processing on friction and wear behavior“ Carbon 66(-), 164-171 (2014)

S. Suarez, E. Ramos-Moore, B. Lechthaler, F. Mücklich „Grain growth analysis of multi-walled carbon nanotube-reinforced bulk Ni composites“ Carbon 70(-), 173-178 (2014)

M.A. Guitar, E. Ramos-Moore, F. Mücklich „The influence of impurities on the formation of protective aluminium oxides on RuAl thin films“ J. Alloys Compounds 594(-), 165-170 (2014)

M.A. Guitar, H. Aboufadi, C. Pauly, P. Leibenguth, S. Migot, F. Mücklich „Production of single-phase intermetallic films from Ru-Al multilayers“ Surf. Coatings Technol. 244(-), 210-216 (2014)

P. Ferrari, E. Ramos-Moore, M.A. Guitar, A.L. Cabrera „Raman analysis of ferroelectric switching in niobium-doped lead zirconate titanate thin films“ Thin Solid Films 556(-), 539-543 (2014)

M.F. Broglia, S. Suarez, F. Soldera, F. Mücklich, C.A. Barbero, R. Bellingeri, F. Alustiza, D. Acevedo „Direct laser interference patterning of polystyrene films doped with azo dyes, using 355 nm laser light“ Appl. Surf. Sci. 300(-), 86-90 (2014)

S. Suarez, F. Lasserre, O. Prat, F. Mücklich „Processing and interfacial reaction evaluation in MWCNT/Ni composites“ physica status solidi (a), 211(7), 1555-1561 (2014)

F.L. Miguel, R. Müller, M. Weinmann, R. Hempelmann, S. Mathur, F. Mücklich „Production and characterization of nanocomposite thin films based on Ni matrix reinforced with SnO₂ single-crystalline nanowires for electrical contact applications“ J. Alloys Compounds, 603(-), 14-18 (2014)

N. Haberkorn, A.M. Condó, M. Sirena, F. Soldera, F.C. Lovey „Single crystalline β phase Cu–Zn nanowires: Synthesis and martensitic transformation“ Mat. Letters 124(-), 256-260 (2014)

J. Riedrich-Möller, C. Arend, C. Pauly, F. Mücklich, M. Fischer, S. Gsell, M. Schreck, C. Becher „Deterministic coupling of a single silicon-vacancy color center to a photonic crystal cavity in diamond“ Nano Letters 14(9), 5281-5287 (2014)

A. Szurdak, A. Rosenkranz, C. Gachot, G. Hirt, F. Mücklich „Manufacturing and tribological investigation of hot micro-coined lubrication pockets“ Key Eng. Mat. 611-612(-), 417-424 (2014)

Alle Publikationen des Lehrstuhls unter
www publica.networking-saarland.de/index