

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

奈米尺度量測技術

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人職稱：工程師

姓名：黃宗銘

出國地區：德國

出國日期：九十二年十月十八日至九十二年十一月二十五日

報告日期：九十三年一月

I5/
009300349

系統識別號:C09300349

公 務 出 國 報 告 提 要

頁數: 18 含附件: 否

報告名稱:

奈米尺度量測技術

主辦機關:

經濟部

聯絡人/電話:

林純白/23212200#267

出國人員:

黃宗銘 經濟部 標準檢驗局第六組 工程師

出國類別: 實習

出國地區: 東德

出國期間: 民國 92 年 10 月 18 日 - 民國 92 年 11 月 24 日

報告日期: 民國 93 年 01 月 28 日

分類號/目: I5/化學與環境科學 I5/化學與環境科學

關鍵詞: AFM(原子力顯微鏡), XRD(X光粉末繞射)

內容摘要: 本次參加九十二年度台德技術合作計畫,赴德國研習「奈米尺度量測技術」為期三十九天。除實際研習相關技術外,並參訪數個極富盛名的研究機構。研習期間自九十二年十月十八日至九十二年十一月二十五日止。奈米科技是人類科技的重大演進。在未來的十幾年內,他將逐步襲捲各個行業,並成為未來產業競爭力的主要決定因素。當物質尺度縮小至奈米層級時,往常不易見到的量子性質、效應均顯露出來。產業界對其新發現之光、電、磁等現象均極為重視。作為一檢驗、驗證機構我們希望從尺度量測為起點,展開自己的奈米計劃。本次赴德研習就是從顯微鏡量測系統、X光繞射量測系統等基本尺度量測技術開始,除研習該等技術發展外,並廣泛的了解一些德國學術研究機構目前奈米科技的發展狀況。研習的儀器包含AFM、XRD、SEM、TEM、MBE等,參訪的單位包括Technical University Ilmenau Center for Micro- and Nanotechnology, Max-Planck-Institute for Microstructurephysics Halle, Fraunhofer Institute for Micromechanical Components and Nanotechnologies, Fraunhofer Institute for Diagnostic and Assessment of Microsystem, University Kassel Institute for Microstructuretechnology and analytic, Institute for Physical High Technology JENA, autronic-MELCHERS GmbH.

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

摘要

本次參加九十二年度台德技術合作計畫，赴德國研習「奈米尺度量測技術」為期三十九天。除實際研習相關技術外，並參訪數個極富盛名的研究機構。研習期間自九十二年十月十八日至九十二年十一月二十五日止。

奈米科技是人類科技的重大演進。在未來的十幾年內，他將逐步襲捲各個行業，並成為未來產業競爭力的主要決定因素。

當物質尺度縮小至奈米層級時，往常不易見到的量子性質、效應均顯露出來。產業界對其新發現之光、電、磁等現象均極為重視。作為一檢驗、驗證機構我們希望從尺度量測為起點，展開自己的奈米計劃。本次赴德研習就是從顯微鏡量測系統、X 光繞射量測系統等基本尺度量測技術開始，除研習該等技術發展外，並廣泛的了解一些德國學術研究機構目前奈米科技的發展狀況。

研習的儀器包含 AFM、XRD、SEM、TEM、MBE 等，參訪的單位包括 Technical University Ilmenau Center for Micro- and Nanotechnology, Max-Planck-Institute for Microstructurephysics Halle, Fraunhofer Institute for Micromechanical Components and Nanotechnologies, Fraunhofer Institute for Diagnostic and Assessment of Microsystem, University Kassel Institute for Microstructuretechnology and analytic, Institute for Physical High Technology JENA, autronic-MELCHERS GmbH.

目次

壹、目的

貳、過程

一、 Technical University Ilmenau Center for Micro- and Nanotechnology

二、 Max-Planck-Institute for Microstructurephysics Halle

三、 Fraunhofer Institute for Micromechanical Components and

Nanotechnologies, Fraunhofer Institute for Diagnostic and Assessment of
Microsystem

四、 University Kassel Institute for Microstructuretechnology and analytic

五、 Institute for Physical High Technology JENA

六、 autronic-MELCHERS GmbH

參、心得

肆、建議

伍、附錄

壹、目的

本次參加九十二年度台德技術合作計畫，赴德國研習「奈米尺度量測技術」為期三十九天。除實際研習相關技術外，並參訪數個極富盛名的研究機構。研習期間自九十二年十月十八日至九十二年十一月二十五日止。

奈米科技是人類科技的重大演進。在未來的十幾年內，他將逐步席捲各個行業，並成為未來產業競爭力的主要決定因素。

當物質尺度縮小至奈米層級時，往常不易見到的量子性質、效應均顯露出來。產業界對其新發現之光、電、磁等現象均極為重視。作為一檢驗、驗證機構我們希望從尺度量測為起點，展開自己的奈米計劃。本次赴德研習就是從顯微鏡量測系統、X 光繞射量測系統等基本尺度量測技術開始，除研習該等技術發展外，並廣泛的了解一些德國學術研究機構目前奈米科技的發展狀況。

貳、過程

- 一、 本次研習於十月十八日於台北出發搭機至德國，十月十九日抵達參訪的第一站德國的 Ilmenau，十月二十日隨即於 Technical University Ilmenau Center for Micro- and Nanotechnology 展開參訪研習活動。
- Ilmenau 為德東的一個小城，城市依山而建，是德國中部的避暑勝地。該城市人口約十萬人，其經濟活動大部分和 Technical University Ilmenau 有關，距離所在邦 Turingen 首府 Eurfurt 約一小時電車的車程。Technical University Ilmenau 屬古老之大學，至今已有 300 年歷史，著名的思想家哥德曾在此講學。學校的微奈米中心為 2002 年中落成，目前為全德最新之該領域整合性研究機構。研究領域共包含微系統、奈米電子、奈米量測、奈米材料及高分子電子材料。以下表格為訪談研習過程之整理。

參研日期	講師	討論主題
10 月 20 日	Dipl.-Ing Volker Cimalla	AFM 的沿革、基本原理、目前發展狀況及實驗室實際參與樣品製作、測試及分析。
10 月 21 日	Prof. Susanne Scheinert	高分子系薄膜電晶體發展、所需之基本製程及量測技術及實驗室目前工作的進度。
10 月 22 日	Dipl.-Ing Michael Fisher	應用標準半導體技術，發展微探針系統、微壓印系統、微機械系統及複材蝕刻及利用線上掃描式電子顯微鏡監控、調變製程。
10 月 23 日	Prof. Theoder Doll	Center for Micro- and Nanotechnology 的成立過程、基本研究方向及如何將不同領域做科技整合；LTCC 發展現況及面臨的挑戰。

10 月 24 日	Spode	高分子系太陽能電池的發展、如何選取新的材料、實驗室目前新的突破及商業化所面臨的問題。
10 月 27 日	Prof. Gert Winkler	可撓性主機板的發展、包含：新材料的研發、新的接著技術、新的電路製程及商品化產品的應用範圍。
10 月 28 日	Prof. Stefan Sinzinger	微光學系統的發展及新方向，包含：光學辨識、訊號處理、多重訊號操作及光電腦架構。
10 月 29 日	Dr. Yoerg Pezoldt	標準半導體技術的介紹，包含化學蝕刻、離子濺鍍、離子磊晶、分子磊晶、化學沉積、雷射離子植入。
10 月 30 日	Dr-Ing. Lothar Spiess	不同掃描式電子顯微鏡的特性、相關技術及如何選擇合適的掃描式電子顯微鏡。
11 月 3 日	Dr-Ing. Karl-Heinz Drue	陶瓷機板的發展、陶瓷機板的商業化產品、陶瓷機板應用之厚膜製程的前景、厚膜製程的檢測儀器。
11 月 4 日	Dr-nat. Krischok	固態物理、表面物理，包含：半導體氮化物表面電子移動理論、如何藉此理論應用於液體感測器的設計及製作、新型態發光二極體的設計原理。
11 月 5 日	Dipl.-Ing. Henry Romanus	不同的 X 光繞射設備應用方式、樣品實測。穿透式電子顯微鏡的原理、儀器介紹、試片製作方式、使用範圍及使用技巧。
11 月 13 日	Prof. Peter Scharff	奈米碳管、復樂球的製備方式及製備儀器之設計改進。其在顯示器及生物製劑的利用方式。

11 月 14 日	Frank Weise	低溫化學蒸氣沉積技術之介紹及與一般壓力控制之化學蒸氣沉積技術差別。如何利用此技術製作生物感應器。
11 月 17 日	Prof. Helmut Wurmus	如何利用標準半導體技術在矽晶圓及特殊玻璃上設計及製作微制動器、微通道、微幫浦、微線圈、微反應器、為感應器。

二、本行程的第二站為拜訪 Max-Planck-Institute for Microstructurephysics

Halle。Halle 為德東發展甚早的古城，中古時期為德國主要的食鹽交易中心，音樂家韓德爾出生於此，宗教家馬丁路德也在此發表了改變中世紀基督教黑暗控制的宗教改革宣言，其距德東第二大城也就是 2012 年德國競爭奧運主辦的所在地來比錫只有 30 分鐘的火車車程。城市內有完整的大眾交通運輸系統，包括：公車系統、電車系統等。市中心以馬丁路德大學為主，並伴隨著許多的研究機構，其代表就是

Max-Planck-Institute。Max-Planck-Institute 為德國最重要的研究機構，其地位好比台灣的中央研究院，為德國諾貝爾獎德主的搖籃。

Max-Planck-Institute 目前共有 78 個不同領域的所，分別分散在不同的地方。在 Halle 這個城市有民族學研究所、微結構物理研究所及酵素蛋白質結構研究所。而本次行程主要為拜訪微結構物理研究所。該所分第一實驗組、第二實驗組及理論組，第一實驗組研究範圍包含：基礎磁性質、微小磁性質、分子束磊晶/雷射植入之薄膜成長、非線性磁光學、薄膜順反磁理論、金屬/陶瓷動態破壞理論。第二實驗組研究範圍包含：奈米晶體、微多孔性矽晶圓、奈米多孔性氧化鋁、晶圓接合技術及量子光學。理論組研究範圍包含電、磁、光的微奈米固態基礎理論。以下表格為訪談研習過程之整理。

參研日期	講師	討論主題
11 月 6 日	Dr. Manfred Reiche	奈米晶體成長技術、應用矽奈米薄膜分離 DNA 技術、光子晶體發光理論及應用、矽及氧化鋁均勻排列之多孔性晶體、晶圓物理性接合技術。
	Dr. Silke H Christiansen	簡介微結構物理研究所的研沿革及第一實驗組的五個主要研究範圍、第二實驗組的四個主要研究範圍。
11 月 7 日	Dr. Margit Zacharias	矽晶片機板成長奈米光點方光技術、雷射植入 Er^{3+} 發光離子技術、多層奈米結構成長及發光性質分析。
	Dr. Eckhard Pippel	利用 TEM、特殊改造 TEM、EDX、晶體攝影技術解決材料摻合、混成之微細結構問題及化學結構判定技術。
	Dr. Hartmut Schwabe	基礎磁學、微磁學、薄膜磁學、薄膜積層磁鐵、電子自旋變化控制磁鐵、低溫控制磁性質技術、居禮效應之研究及商業化應用實例。
	Dr. J.P. Rakotoniaina	熱感應 CCD 顯像技術，利用此技術檢測半導體產品缺陷包括：晶圓、太陽能電池、顯示器等。

三、本行程的第三站為拜訪 Fraunhofer Institute for Micromechanical

Components and Nanotechnologies, Fraunhofer Institute for Diagnostic and Assessment of Microsystem。該二所亦位於 Halle，就在

Max-Planck-Institute for Microstructurephysics 的附近。Fraunhofer

Institute 為一半官方研發機構，性質、經費與來源及研究方向與台灣的

工業技術研究院相似。該機構共有 57 個各種不同領域的工業科技研究

所，分布在整個德國境內。另也於比利時、法國、斯洛伐克、美國、中國大陸、印尼、日本、韓國、及新加坡設有研究中心和海外辦公室。訪問的單位為 Institute for Micromechanical Components and Nanotechnologies，及 Institute for Diagnostic and Assessment of Microsystem，主要研究範圍為微機械系統研發檢測、半導體產品評估測試。以下表格為訪談研習過程之整理。

參研日期	講師	討論主題
11 月 7 日	Dr. Joerg Bagdahn	介紹 Fraunhofer Institute 的組織架構、運作情形及經費來源，包括本次參觀的兩個所特色。
	Dr. Matthias Petzold	介紹微力學試驗室、晶圓整合性功能測試試驗室、微機械測試設備研發試驗室、離子束磊晶儀器、與工業界之合作計劃案。

三、本行程的第四站為拜訪 University of Kassel Institute for

Microstructuretechnology and analytics。Kassel 現為德國中部的第一大城。統一前地屬西德但靠近東德，所以大部份的主要工業都不敢設據點於此。統一後，由於該城市地處德國正中心，許多新建的東西向及南北向的鐵路在此交會，許多德國著名公司也重新在此建立營運中心，城市逐步壯大。另，著名的童話書格林童話的作者格林兄弟也就在此創作。

University of Kassel 是德國中部的學術重鎮，Institute for Microstructuretechnology and analytics 為德國統一後德西唯一新建的微奈米研究中心。起初該計劃為物理系及電子工程系的合併科技整合計畫，但新建築所在位置旁邊分別為化學系、生物系及生化系的系管，所以該計劃最後為包含電子工程、物理、化學及生物的微奈米中心。以下

表格為訪談研習過程之整理。

參研日期	講師	討論主題
11 月 10 日	Prof. Dr. Rainer Kassing	Institute for Microstructuretechnology and analytics 的沿革、主要的研究方向及他本人目前研究的主題，包括光子晶體、微機械系統設計、特殊半導體製程等。
11 月 11 日	Prof. Dr. Hartmut Hillmer	微機電系統設計、半導體製程放大、光學與應用生物學之合併技術、新光學材料評估。
	Prof. Dr. Josef Salbeck	有機光二極體顯示器
	Prof. Dr. Thomas Baumert	Pico second、fento second 雷射的研發、微鏡片設計、整合性光學儀器研發、雷射化學。
	Prof. Dr. Frank Traeger	雷射長晶技術、晶粒尺度控制技術、去氧核糖核酸自組導通系統，金奈米顆粒催化系統。
11 月 12 日	Dr. Cyril Popov	鑽石系場發射顯示器、有機光二極體的新製程開發、高硬度 SiC,CN 薄膜成長技術。

四、本行程的第五站為拜訪 Institute for Physical High Technology JENA。

JENA 距德國歷史名城 Weimar 僅十多分鐘之火車車程，中古時期德國大思想席勒便在此講學，是故城裡的大學名為席勒大學，也是一所極富盛名的古老大學。另，JENA 為一發展很早的光學工業城，德國最著名的玻璃製造商 Zeiss 就是就是由此發跡。兩德統一後該城市逐漸成為德國的學術研究中心。市中心為 Friedrich-Schiller-University (席勒大學)，市郊另有一佔地廣大的研究園區名為 Technologie- und Innovationspark

JENA，包含 Institute for Physical High Technology(IPHT)、 Institute for Molecular Biotechnology、 Max Planck Institute for Chemical Ecology、 Max-Planck-Institute for Erforschung von Wirtschaftssystemen、 Max Planck Institute of Biogeochemistry、 Hans-Knoell-Institut for Naturstoff-Forschung、 Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering、 BioCentiv GmbH、 Institut für Feuertechnik und Werkstoffprüfung。參訪的 IPHT 成立於 1992 年，工作的方向是把基礎研究和商業化技術做整合。該研究院目前共有四個工作組分別為 Magnetism/Quantum Electronics Division、 Optics Division、 Microsystem Division、 Laser Technology Division。以下表格為訪談研習過程之整理。

參研日期	講師	討論主題
11 月 18 日	Prof. Dr. Hartmut Bartelt	IPHT 的設立宗旨、沿革及主要研究方向，包括他本人專長的 Holographical optical elements。
	Dr. Hans-Rainer Muller	混和材料（矽晶圓及外鍍薄膜）的光子晶體設計、製作、測試及分析，特殊蝕刻技術的發展。
11 月 18 日	Dr. Siegmund Schroeter	摻合型特定波長光纖如：紅外光光纖、進紅外光光纖、紫外光光纖之原理、設計及製作。
	Dr. Gerd Wende	光纖製作製程、設備、封裝、測試。不同類型光纖之接合技術。光波導的製作及測試。
	Prof. Dr. Hans Eckhardt Hoenig	量子物理概念、超導元件設計、磁電元件、特殊磁薄膜成長技術、磁電性質應用之整合性儀器。

11 月 19 日	Dr. Wolfgang Fritzsche	基因/蛋白質晶片技術、晶片型反應槽、單晶成長技術及儀器設計、銀奈米粒子顯色計。
	Dr. Rainer Riesenber	量子物理如何應用在光柵的設計上、整合性光學元件設計、光學儀器改良、照明元件改良。
	Dr. Juegen Pipper	晶片型聚合酶鏈鎖反性一製作及測試。
	Prof. Dr. Wolfgan Triebel	雷射量熱儀、雷射量測超低熱膨脹係數材料技術、微小長度量測用之度量衡儀器設計。
	Dr. Fritz Falk	矽晶圓與高分子系合併式太陽能電池、雷射調控大單晶長晶技術、高速 TFT 技術。

五、本行程的第五站為拜訪位於 Karlsruhe 的 autronic-MELCHERS GmbH。

Karlsruhe 為原德西工業大城，距出入德國的門戶法蘭克福約一小時高速鐵路車程。重要的鋼鐵、機械大廠均在此設有生產基地。參訪之 autronic-MELCHERS GmbH 為平面顯示器測試儀器製造廠商。由於近幾年台、日、韓在平面顯示器製造上的大量投資，使相關之測試設備需求激增。該公司發展該類儀器已有十五年的歷史，掌握了該儀器主要結合了雷射及顯微鏡兩種技術。以下表格為訪談研習過程之整理。

參研日期	講師	討論主題
11 月 20 日	Joergen Laur	平面顯示器的發展、各種不同顯示技術的優劣、測試儀器如何配合發展、測試儀器的種類、各種類測試儀器之使用範圍。
11 月 21 日	Joergen Neumeier	平面顯示器功能性測試儀器設計原

		理、實際操作測試樣品及所得結果圖譜 之分析解釋。
--	--	-----------------------------

參、心得

一、德國奈米科技研究主題分析：

本次赴德參訪之微奈米中心共有大學兩所、研究機構三處，均為德國重量級之學術單位，基本上可看出目前德國學界如何看待奈米科技這個議題。從訪問行程統計出以下之研究重點：

從事奈米科技基礎儀器分析之研究團隊七個，
從事半導體技術研發之研究團隊六個，
從事顯示器相關研究之研究團隊六個，
從事半導體微感測器研究之研究團隊六個，
從事半導體發光元件研發之研究團隊五個，
從事基礎理論研究之研究團隊四個，
從事半導體基本元件研究之研究團隊四個，
從事半導體光學元件研究之研究團隊三個，
從事太陽能電池相關研究之研究團隊三個，
從事雷射相關技術研究之研究團隊三個，
從事磁學研究之研究團隊二個。

二、德國奈米科技研究趨勢：

上述統計之數字顯示，半導體相關之研究在德國微奈米計畫中佔有舉足輕重的地位，舉凡從基本半導體技術到其技術的應用均有大量的人力物力投入。

一般認為進入奈米的領域有兩種方式分別為由下而上（bottom up）及由上而下（top down）。當工業進入所謂的奈米層級其意義是代表：對生產產品的性質更清楚，對物質、材料的掌控更拿手。但為人類科技進入原子操控的時期並不長，對於相關的技術仍停留在發現、了解當中，實際上能工業應用的技術有限。所以至目前為止由下而上的堆積方式在奈米科技領域中大

部份都還在實驗室階段。相對的由上而下的代表，半導體技術，其發展已有一段時間，為一穩定且繼續成長的技術；且依目前的情況，已造成科技強勢大國及弱勢國家的一個明顯壁壘，為了阻斷後繼者的迎頭趕上，也為了拉大領先群彼此間之距離，各半導體技術大國均在此領域加強投資，當然德國也不例外。也因此本次造訪的微奈米中心半導體計畫佔最大一部份。

有關光學研究在奈米科技中亦不可小視之。二十世紀的工業幾乎可說是電子時代，但進入二十一世紀光電交互作用到純光學技術的掌握則是德國人眼光中工業的未來，其代表領域為雷射技術及發光元件的開發。比如在 University Kassel，一組研究人員利用諾貝爾獎得主朱隸文開發的雷射技術先把分子冷凝，繼而使用微細化的雷射偵測分子鍵的大小，最後依量測值射出最後一道雷射打斷分子鍵，該技術的發展已打破傳統化學熱力學反應的規範，創造出新的化學反應模式。

有關磁的領域，至目前為止就屬德國最能掌控其特點。本次參訪的研究機構中磁雖非最主要的研究領域，但其所展示之研究成果均令人瞠目結舌。比如在 Max-Planck-Institute for Microstructurephysics Halle，一組研究人員已經可以藉由雷射光原改變物質表面原子內的電子的自旋狀態，進而操控表面磁現象。

三、德國研究機構之差異性：

德國研究機構眾多但彼此間有明確的定位，以本次計畫所拜訪之單位就可以區分為以下幾種：

（1）國家級基礎科學研究機構：

如 Max-Planck-Institute，好比台灣之中央研究院，經費來自中央政府。機構主要的研究方向為基礎科學或國家重點發展科學。機構內之研究人員素質極高，研究主題及內容較其他機構更具深度；甚至機構的主持人均為諾貝爾獎得主或熱門候選人。

(2) 半國家級工業研究機構：

如 Fraunhofer Institute，好比台灣之工業技術研究院，經費部分由政府支應，部分需由機關自籌。機構主要的研究方向需配合當時工業界的需要做適時的調整，整體說來應用性高的生產技術及診斷性檢測技術為期重點。

(3) 地方級學術研究機構：

如 Institute for Physical High Technology JENA，經費由地方政府支應。由於德國屬聯邦式國體，地方政府可視其地方特色發展奇特有學術研究領域。像上述之 IPHT JENA 因所在地為德國傳統光學製造重鎮，所以州政府就因勢利導的把該地方發展成一物理高等技術研發中心，其規模與同類型的國家級學術研究機構不相上下。惟其研究領域就需考慮地方之需要。

(4) 驗證機構

如 TUV，為民間機構。除一般性事務外最主要技術研發是發展產品驗證範圍之相關技術，也因此其技術層次較為繁複，但不需專研至基本理論。

(5) 一般大學院校

與台灣之大專院校相似，主要工作為教學及研究，但與美、台、日不同者為德國無所謂之明星大學，所有的大學均有相當的學術水準；不過各校重點發展有別，相同的系所規模上可能有極大的差距，但研究成果均屬上乘。特別的是其研究經費來源眾多，有從聯邦政府、有從州政府、也有民間廠商資助的研究計劃。

肆、建議

此次能有機會參加九十二年度台德技術合作計畫，赴德國研習「奈米尺度量測技術」並收集相關技術資料，收獲頗為豐富，在此提出幾點建議供作參考：

一、經費

新資訊的調整：

政府單位人員赴美、日的機會較多，所以累積了完整、準確的資料供經費鰥銷參考。但赴歐人員則需面對日支費資訊不明的困擾。如以德國地區，不少大城市都未列入公務人員因公出國日支表內，反而列入小城市。建議日支表需逐年修訂

經費補助：

統合後的歐洲使用的歐原以成為世界最主要的貨幣，但至目前我們的經費核算都還以美元計價。另，依減半補助的原則，在德國大部分地區，連基本住宿都成問題。建議赴歐地區機費報銷可以歐元計及適度調高日支費。

二、與歐洲之技術交流

長久以來台歐之技術交流就不甚頻繁，近年來尤重台美及台日。面對變動迅速的世界，歐洲方面的動態一樣不能忽視。相對於中國大陸在歐洲有著眾多的留學生及研究人員，其實我們也應加強與歐洲的技術交流。

三、奈米科技研究開發的未來趨勢

奈米科技研的範圍相當大，就以德國經驗說來，半導體技術及顯示器技術是目前競爭最激烈的領域，當然我們沒有理由退卻，況且目前在此等領域台灣都佔有重要的地位。其他領域方面則有待我們本身基礎科學的加強，並統合跨類們技術，如半導體技術與基礎光學的整合、半導體技術與生物技術的整合，顯示技術與材料科學的整合、半導體

技術與超導體的整合發展等可能為較重要的方向。

伍、附錄

University of Kassel Institute for Microstructuretechnology and analytics 的
奈米科技簡介資料。

Nanotechnologie

- Chancen für die Zukunft -

Rainer Kassing



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen

Inhalt

- Motivation, warum benötigen wir Nanostrukturen
- Historische Entwicklung
- Herstellung von Nanostrukturen
- Anwendungen und eigene Ergebnisse (Sensoren für die Rastersondenmikroskopie)
- Zusammenfassung

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen

Bedeutung für den Markt

Der Markt für elektronische Bauelemente in Deutschland beträgt ca. 20 Mrd. € mit 70.000 Beschäftigten

Die aus den Bauelementen gefertigten Systeme haben in Deutschland einen Marktwert von ca. 100 Mrd. €

Weltweit hat die Elektronik-Industrie einen Umsatz von ca. 800 Mrd. €. Sie ist damit führend unter den produzierenden Industrien und hat sogar die Automobil-Industrie überholt.

Die Elektronik besitzt die höchste Wertschöpfung. Von ihr profitieren alle Technologiebranchen. Z.B. hängen 80% aller Innovationen in der Automobil-Industrie von der Elektronik ab.

Die Angaben stammen aus dem BMBF

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Johann Wolfgang von Goethe

1749-1832

*Willst du dich am Ganzen erquicken,
mußt du das Ganze im Kleinsten erblicken.*

Gedichte
"Ausgabe letzter Hand, 1857"
Cott, Gombel und Welt

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Bedeutung von Energie und Kreativität

Arbeit, Kapital; Energie → „Kreativität“

Zeit →

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanotechnologie

Neues (Ordnung) schaffen → Bedeutet Einsatz von Arbeit, Kapital; Energie und Kreativität

Diese machte die Entwicklung von der Agrar- über die Industrie- zur Informations-Gesellschaft durch immer kreativere Energienutzung möglich

Umordnung von Atomen → Energie → Kreativität → Transistor

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen
Biomimetic

Biomimetischer Ansatz zur Verbesserung der Kristallstruktur

Kontrollierte Kristallisation



Technische Lösung:
z.B. Zement, Gipsplatten

Natürliche Lösung:
z.B. Knochen, Schalen, Zähne

Drei Faktoren:
- Porosität
- Form
- Anordnung

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics

CINS&T

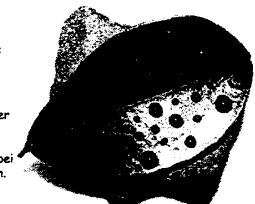
UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen
Lotuseffekt

Selbstreinigende Oberflächen in der Natur - Der Lotuseffekt

Selbstreinigende Oberflächen besitzen die Eigenschaft, dass Flüssigkeiten an ihnen abperlen und dabei Schmutzpartikel mitreißen.

Das Lotusblatt verdankt seine Reinheit einer bestimmten Oberflächengestaltung kombiniert mit einer Mikrostruktur aus Wackskristallen. Dieser Effekt kann auch bei vielen anderen Pflanzen beobachtet werden.



Der Wasserkontaktwinkel an einem Lotusblatt erreicht Werte bis 160°.

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics

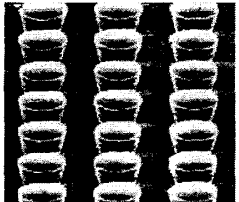
CINS&T

UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen
Lotuseffekt

Technische Oberflächen mit Lotuseffekt

Galvanisch abgeschiedene Nickelstrukturen mit ca. 7 µm Höhe und 20 µm Durchmesser. Bei Beschichtung solcher Strukturen mit der Antihafschicht SICOM® wird ein Wasserkontaktwinkel von 153° erreicht.



Vision:
Ihr Auto sieht nie mehr eine Waschanlage.

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics

CINS&T

UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen
Biomaterialien/Biomaterialien



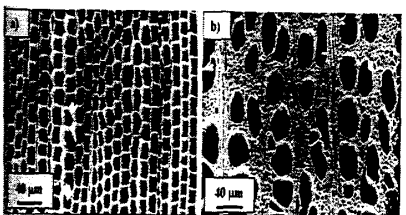
Kristallstruktur: Aragonit, stabil ist Calcit

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics

CINS&T

UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen
Holzstrukturen



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics

CINS&T

UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen
Rattenzahn (ENAMEL)

Proteine (Amelogenin, Enamelin) organisieren Hydroxyapatit



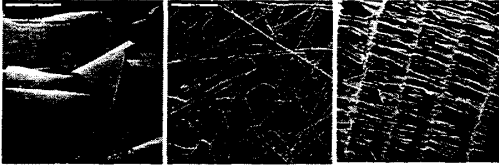
IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics

CINS&T

UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Polymer kontrollierte Kristallisation**

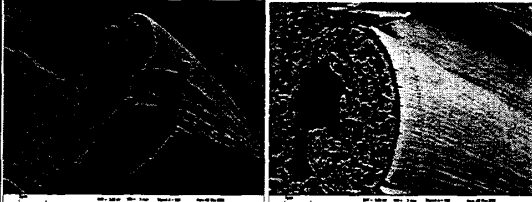
Nanofiberkonstruktion



S.H. Ye, R. Calfee, M. Asanin, *Nanotechnology* 2003, 14, 379

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

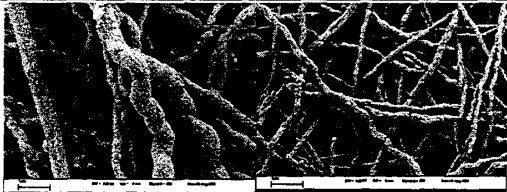
Nanostrukturen **Polymer kontrollierte Struktur**



NaSO₄, 2 mM, Polystyrol (M_n = 5100) 0.11 mM, pH = 5.5, Raum Temperatur

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Polymer kontrollierte Struktur**



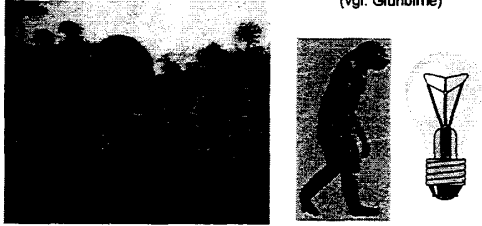
BaCO₃ mit steifen Polyelektrolyten

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Der Mensch ohne Hilfsmittel

Vor 1 000 000 Jahren „Pflanzensammler“
Benötigte ca. 2 kWh

Der Mensch leistet ca. 100 W
(vgl. Glühlampe)



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Feuer, Werkzeug

Vor ca. 400 000 Jahren
Prometheus brachte Feuer
auf die Erde

Urmensch fertigte Speere,
Waffen, benötigte ca. 6 kWh,
davon die Hälfte zum
Wärmen und Kochen

Mensch jagt Mammut
(11-16 kWh = 10 x Ertrag
von Pflanzen, Obst)
Hohe Bevölkerungsdichte
möglich: 1-50
Personen/km²

Zähmt Pferde, Kühe, etc.
Pferd leistet 3 – 6 kWh pro Tag
(bei 30 kWh Nahrung $\eta = 10 - 20 \%$)



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Maschinen

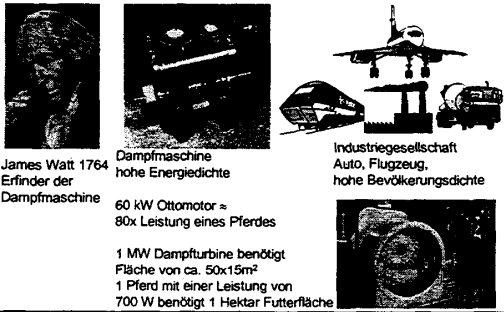
James Watt 1764
Erfinder der
Dampfmaschine

Dampfmaschine
hohe Energiedichte

Industriegesellschaft
Auto, Flugzeug,
hohe Bevölkerungsdichte

60 kW Ottomotor $\approx$
80x Leistung eines Pferdes

1 MW Dampfturbine benötigt
Fläche von ca. 50x15m²
1 Pferd mit einer Leistung von
700 W benötigt 1 Hektar Futterfläche



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Transistor → Informationsgesellschaft



Bardeen, Brattain, Shockley,
1947



Bild des Transistors

Informationsgesellschaft
Globale Vernetzung





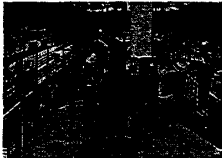
Institute of
Microstructure Technologies and
Analytics




Nanostrukturen **ENIAC**



„Meines Erachtens gibt es einen
Weltmarkt für vielleicht fünf
Computer.“
(Thomas Watson, IBM-Präsident, 1943)



ENIAC (1946 – 1955)
Masse: 30 Tonnen
Leistungsverbrauch: 200 kW
mehr als 19.000 Röhren



Institute of
Microstructure Technologies and
Analytics




Mikrostrukturen, -systeme **Historie**

1943
„I think there is a world market for may be five computers“
- Thomas Watson, Chairman of IBM, 1943

1949
„Computers in the Future may weigh no more than 1.5 tons“
- Popular Mechanics, 1949

1977
„There is no reason for any individual to have a computer
in their home“
- Ken Olson, President, Chairman and Founder of Digital Equipment Corp., 1977

1981
„640 K ought to be enough for anybody“ Bill Gates, 1981



Institute of
Microstructure Technologies and
Analytics




Mikrostrukturen, -systeme **Historie**

1947 W. Shockley, W. Brattain, J. Bardeen stellen den
TRANS fer res ISTOR vor (Ge) (Nobelpreis 1956)

1958 J. Kilby (Texas Instr.), R. Noyce (Fairchild) ent-
wickeln die Planartechnologie und den ersten
integrierten Schaltkreis (Si) (Nobelpreis 2000)

1960 Atalla, Kahng (Bell Labs) realisieren den 1925 von
J. Lilienfeld patentierten MOSFET

1967 Fairchild präsentiert den ersten MOS-Chip für die
Datenverarbeitung

1970 Intel stellt das erste DRAM (i1103, 1k PMOS) vor



Institute of
Microstructure Technologies and
Analytics




Mikrostrukturen, -systeme **Historie**

1971 Intel stellt den ersten MIKROPROZESSOR i4004 vor
(2250 Transistoren, 10µm Technologie, 108 kHz)

1981 IBM, Andy Grove und Bill Gates entwickeln den
ersten PERSONAL COMPUTER i8088
(29000 Transistoren, 3µm Technologie, 8 MHz)

2002 Bis April 2002 hat die Industrie 10⁹ PC's produziert

2003 Intel Pentium 4 Prozessor
(42·10⁶ Transistoren, 130 nm Technologie, 2.2 GHz)
AMD Athlon Prozessor
(38·10⁶ Transistoren, 130 nm Technologie, 1.7 GHz)
Infineon DRAM
(525·10⁶ Transistoren, 140 nm Technologie, 1.7 GHz)



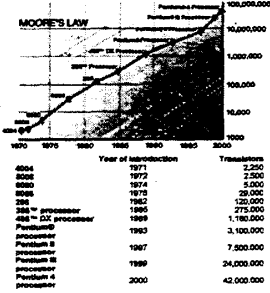
Institute of
Microstructure Technologies and
Analytics




Nanostrukturen **MOOREsches Gesetz**

Gordon Moore



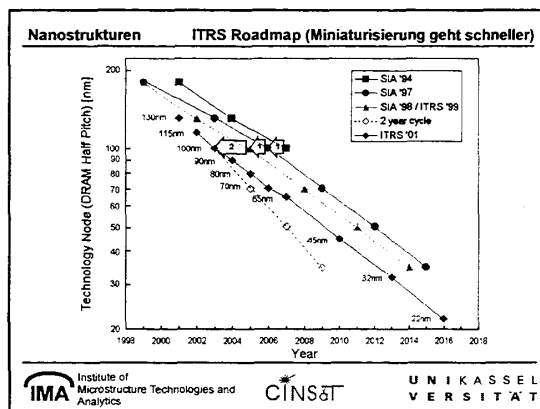
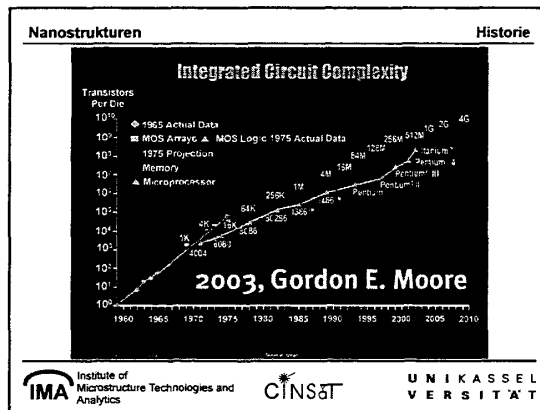
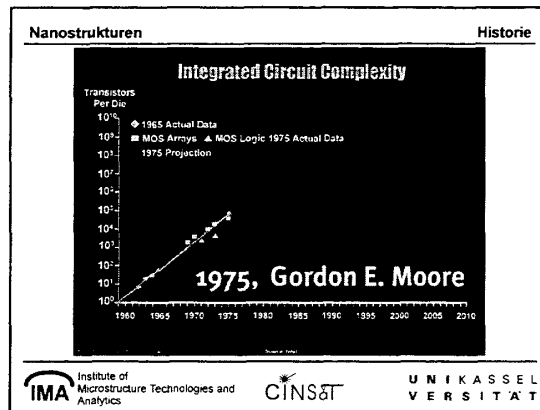


Year of introduction	Transistors
4004	2.250
8008	2.250
8080	5.000
8086	29.000
286	120.000
386™ processor	275.000
486™ SX processor	1.180.000
Pentium® processor	3.100.000
Pentium® II processor	7.500.000
Pentium® III processor	24.000.000
Pentium® 4 processor	42.000.000



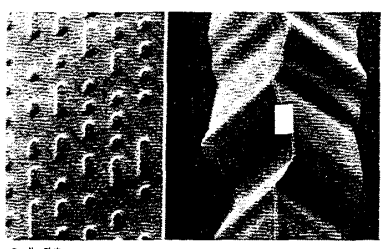
Institute of
Microstructure Technologies and
Analytics



Nanostrukturen **Vergleich CD, Schallplatte**

Vergleich der Informationsspuren auf herkömmlicher LP („Schwarze Scheibe“) und Compact Disc

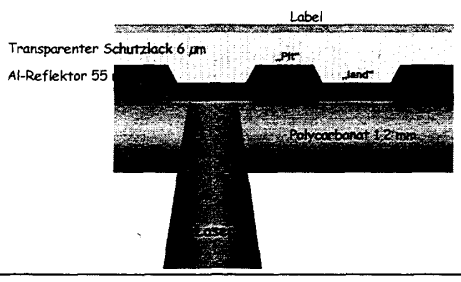


Quelle: Philips

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Aufbau CD, DVD**

Aufbau von CD und DVD



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **CD, DVD, Blue Ray**

CD - DVD - Blue Ray

Vergleich der Datendichte von drei Generationen optischer Speichermedien (Rom-Medien)



CD	DVD	Blue Ray
780 nm	<u>Laserswellenlänge</u> 635/650 nm	405 nm
0,65 Gbyte	<u>Speicherkapazität</u> 4,7 - 17 Gbyte	23,3 - 27 GByte

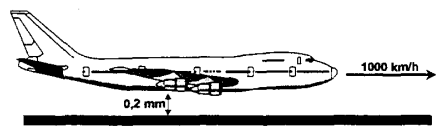
IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Magnetplatte**

Das System

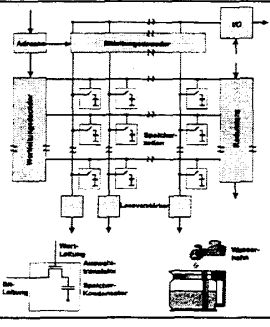
Schreib-/Lesekopf - Magnetplatte

ist vergleichbar mit einer Boeing 747, die mit Maximalgeschwindigkeit in einem konstanten Abstand von etwa 0,2 mm über der Erdoberfläche fliegt.



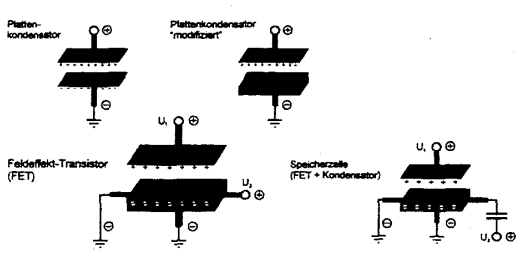
IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Prinzip eines MOS-Speichers**

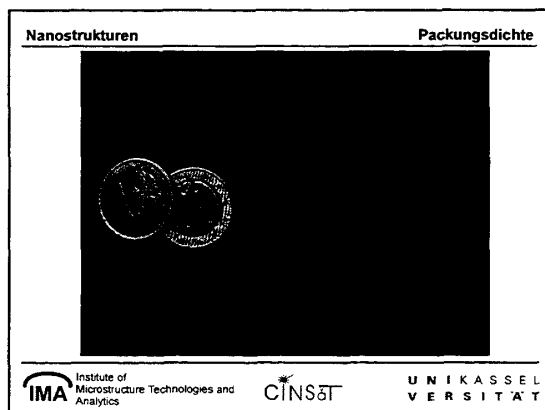
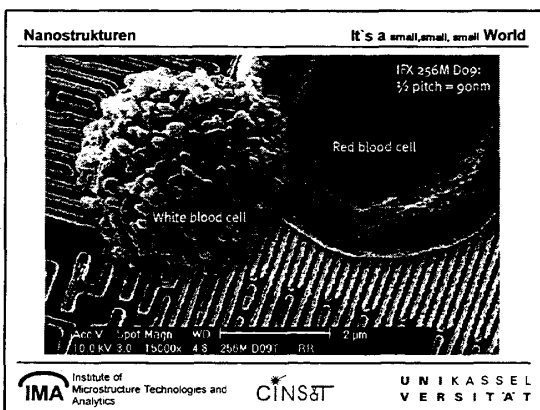
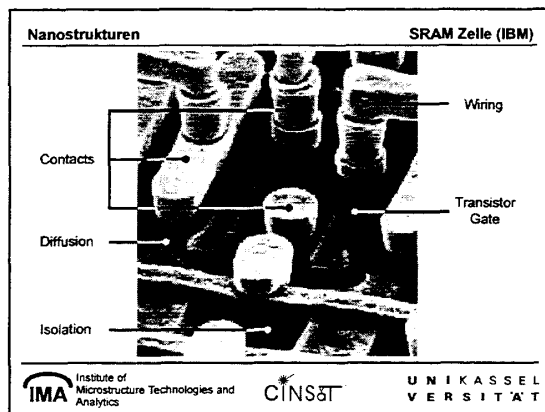
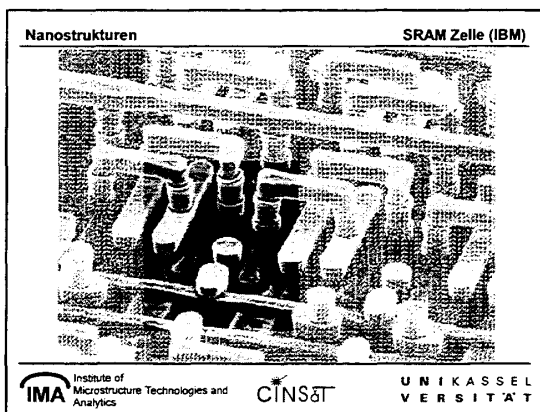
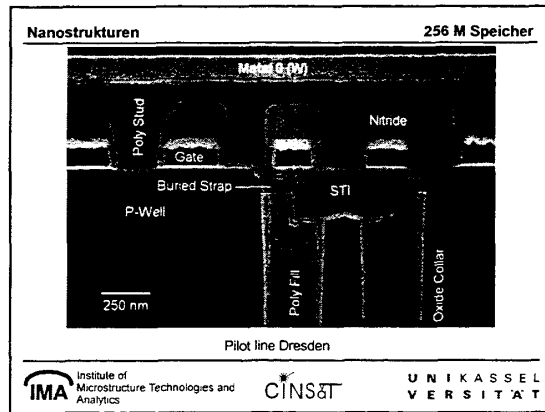
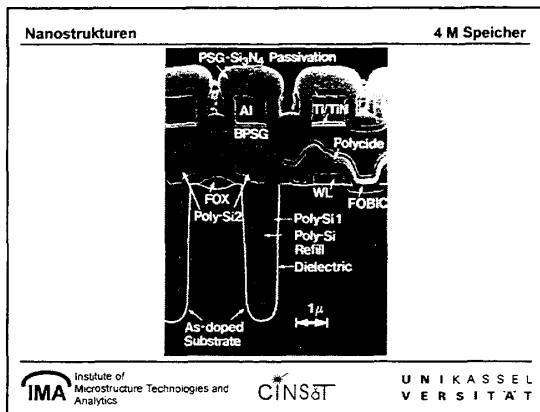


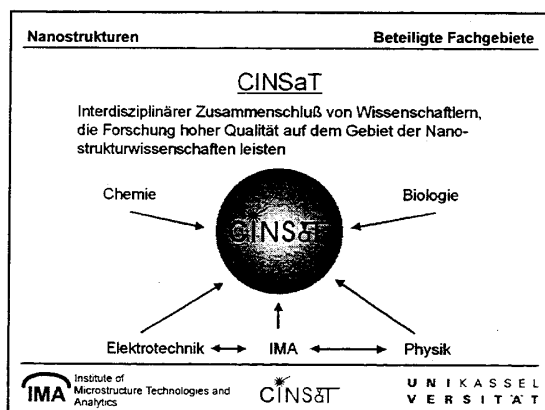
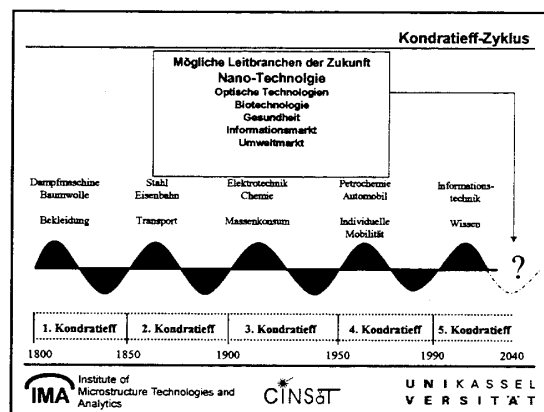
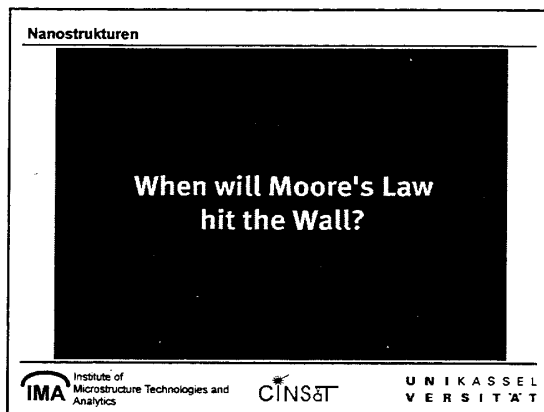
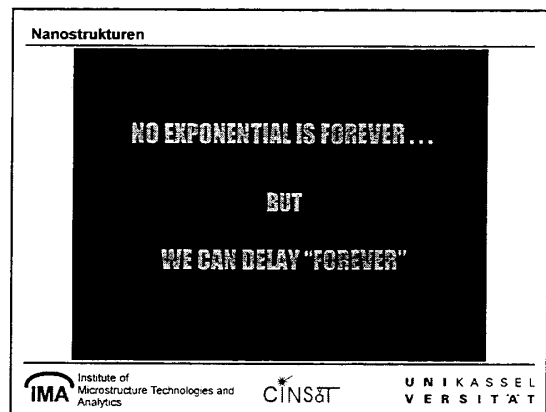
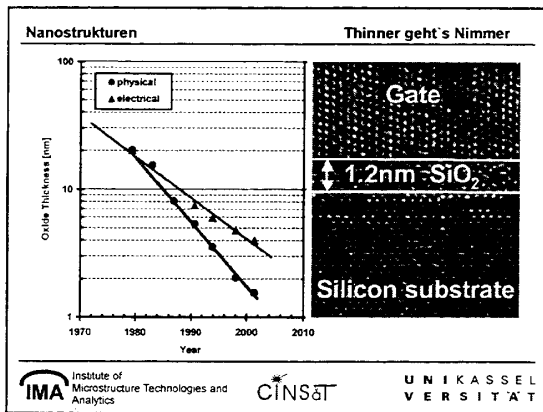
IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Prinzip FET**

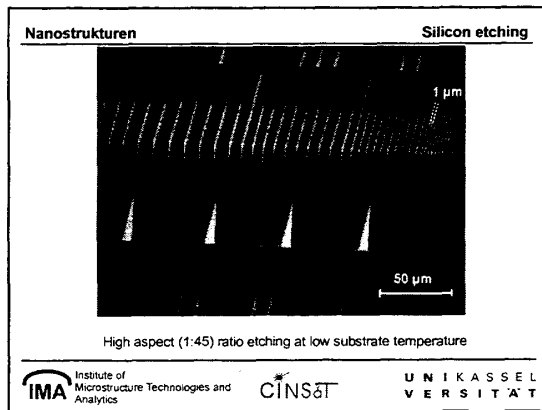
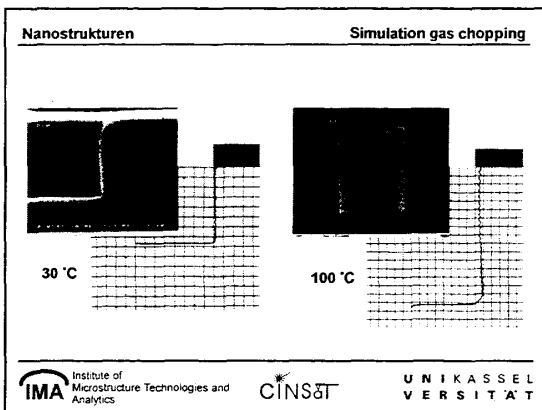
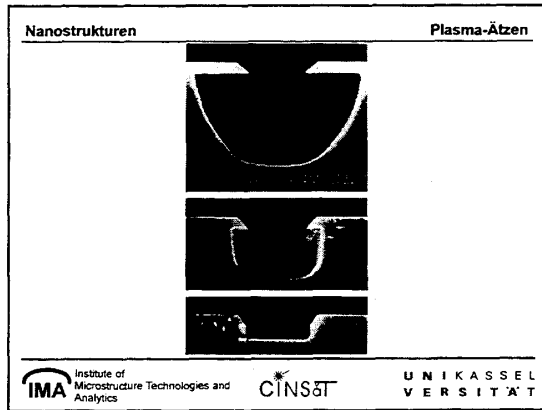
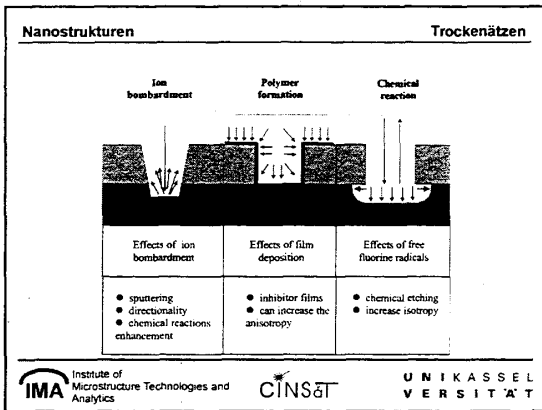
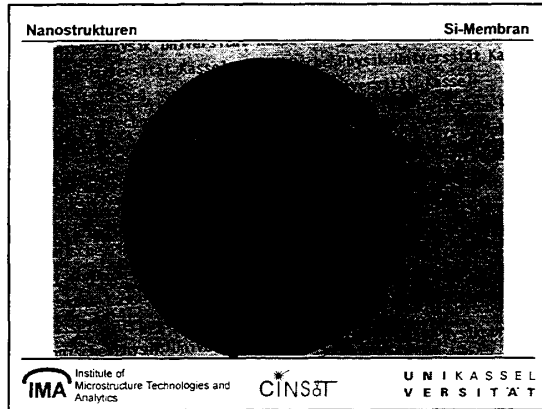
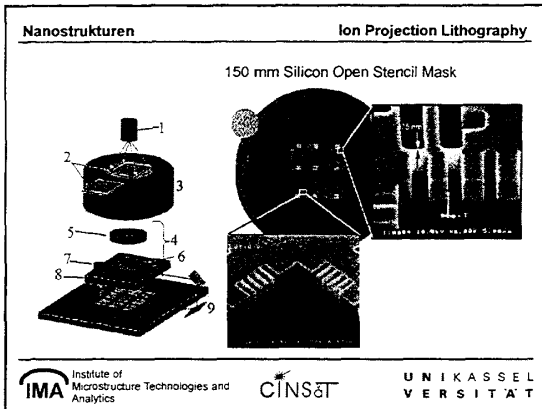


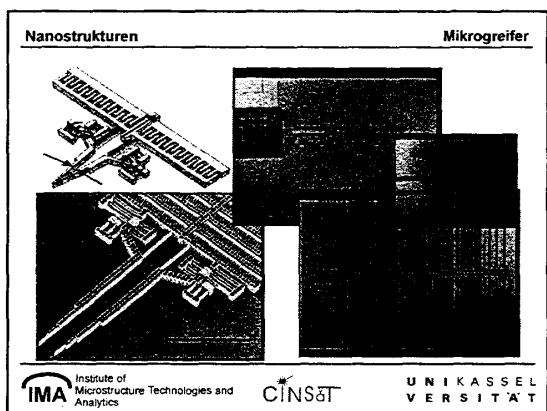
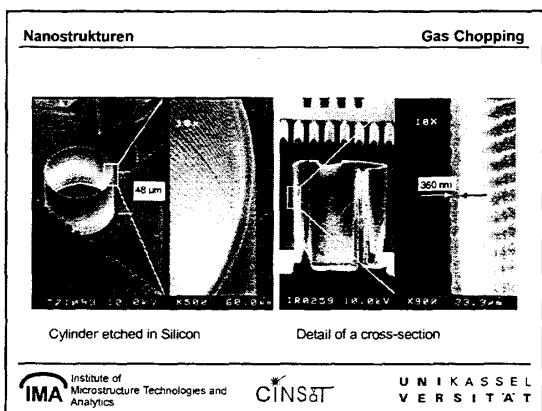
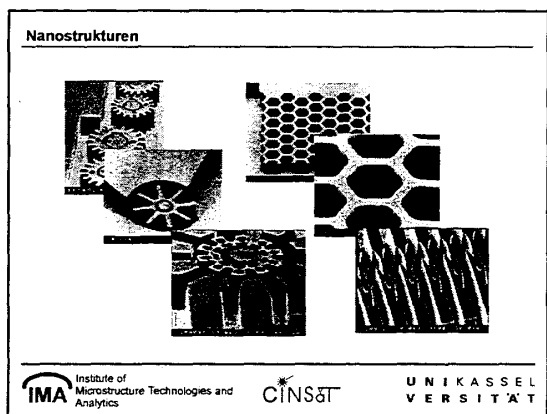
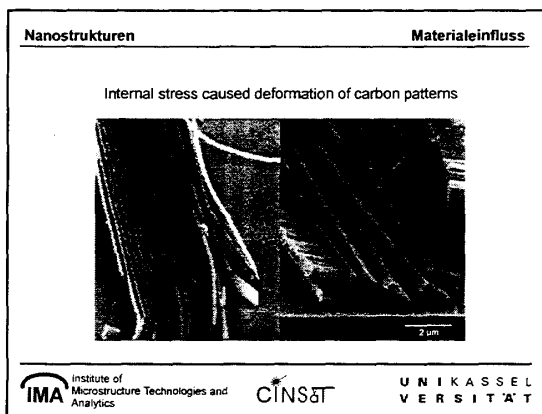
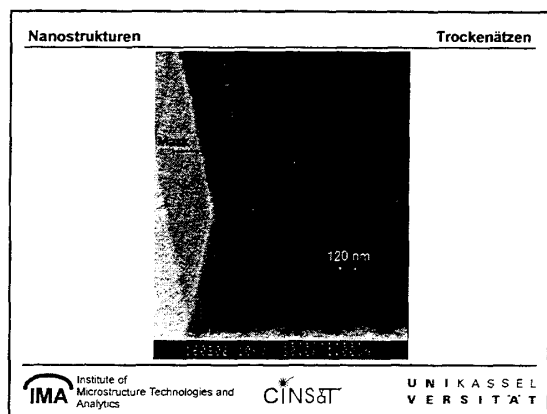
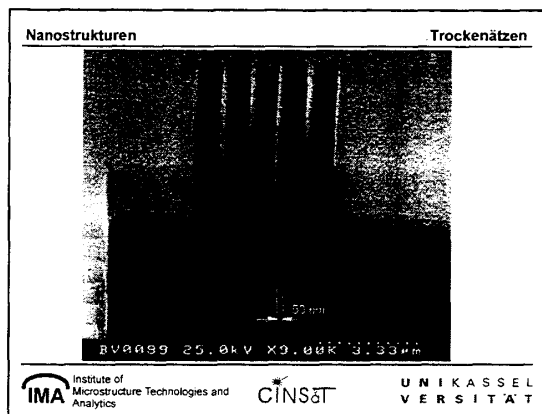
IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

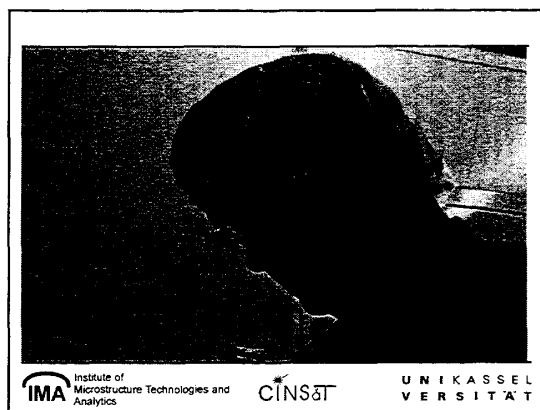
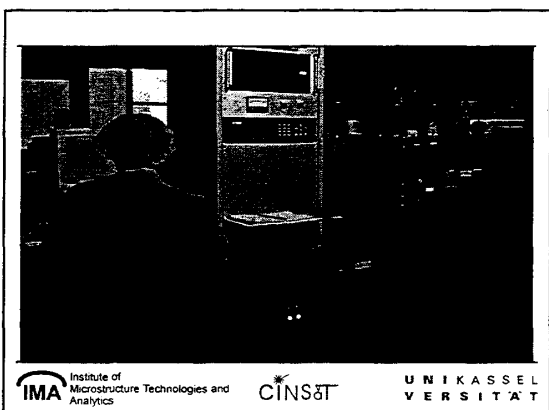
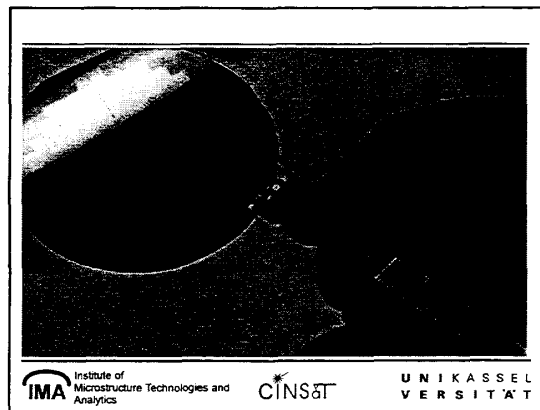
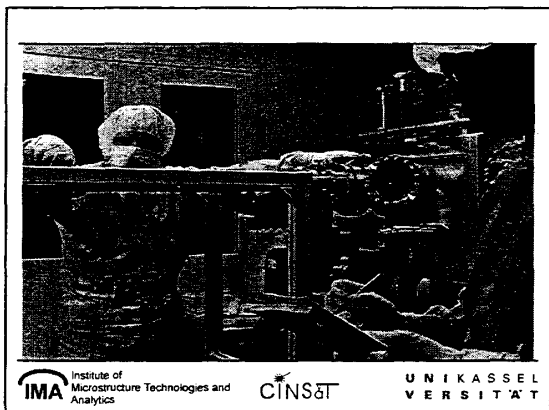
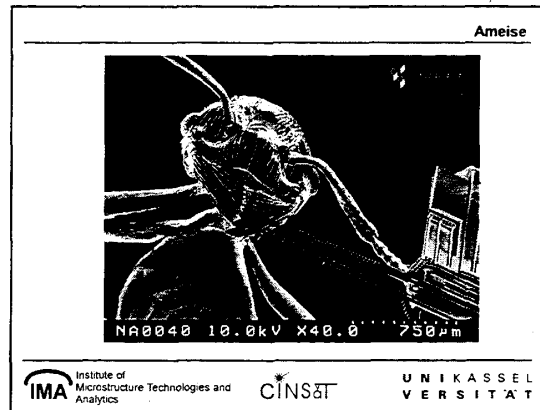
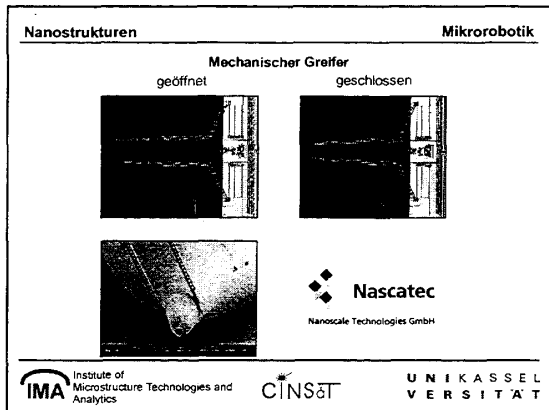


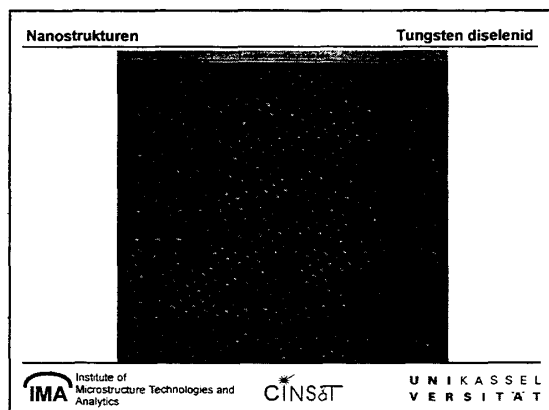
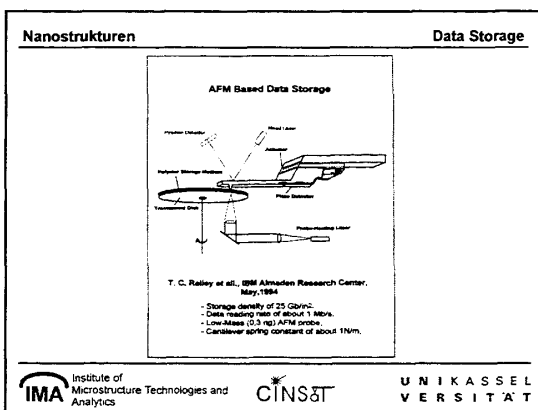
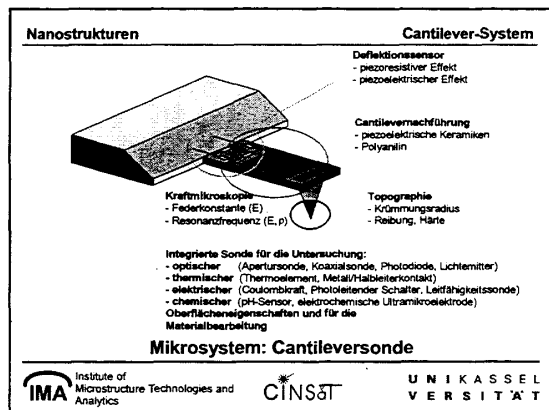
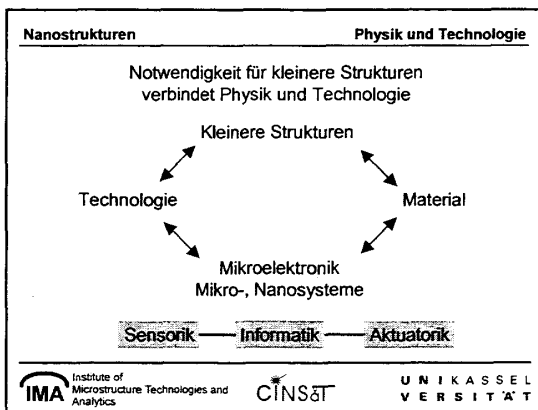
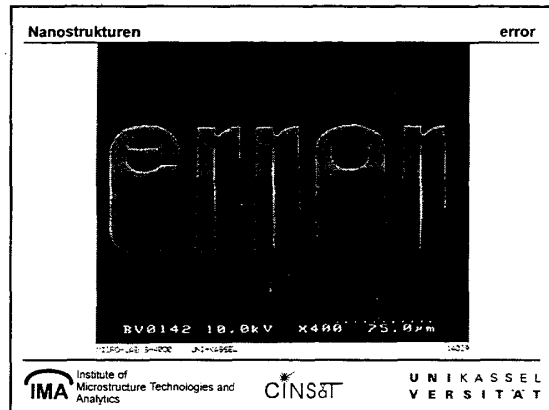
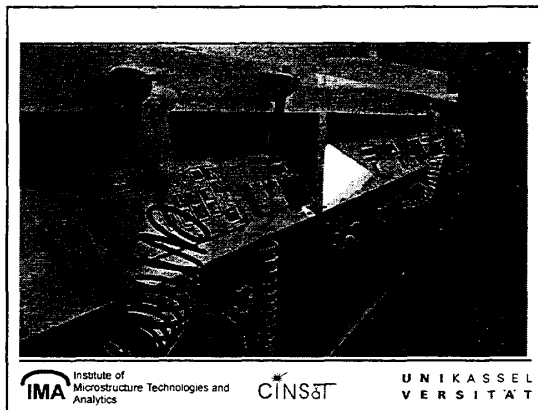


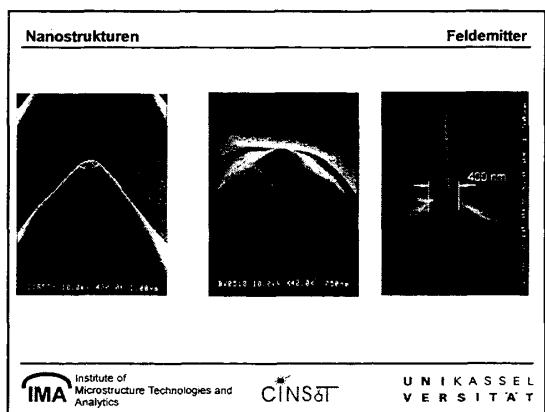
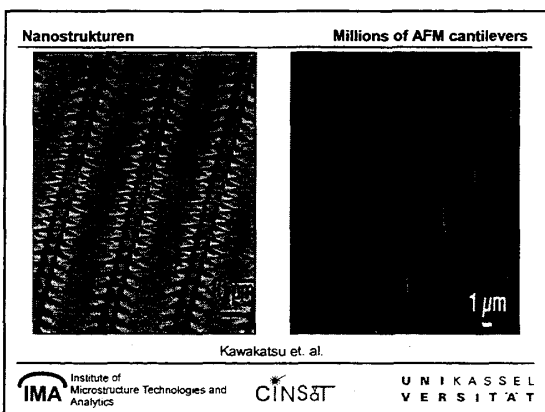
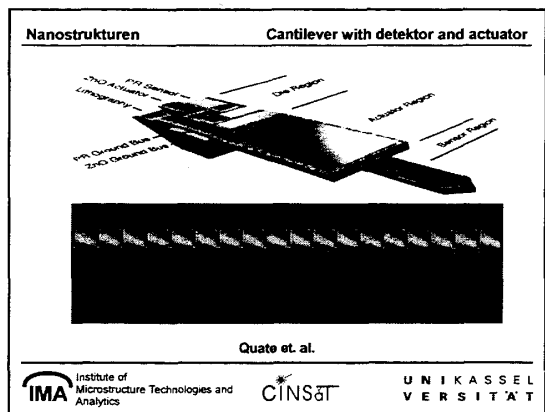
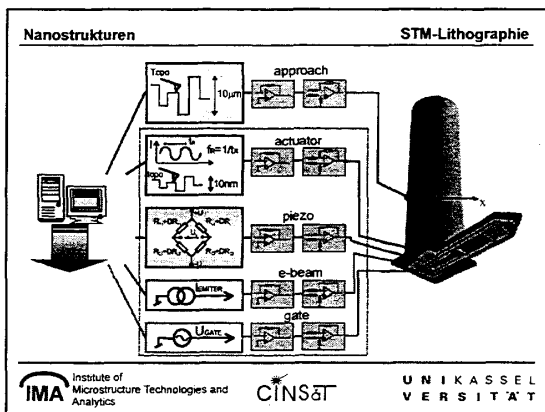
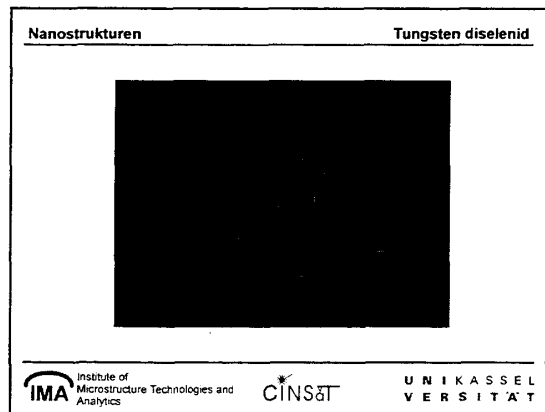
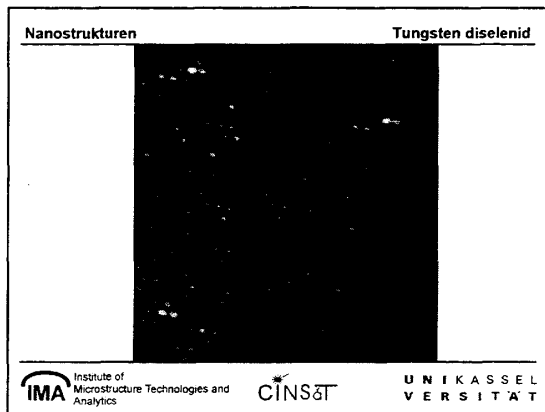
- Nanostrukturen** Motivation und Ziele
- Motivation und Ziele
- Forschungsschwerpunkt in dem hochaktuellen, interdisziplinären Gebiet der Nanostrukturwissenschaften
 - Bündelung der in den Disziplinen Physik, Chemie, Biologie und Elektrotechnik einschließlich IMA in Kassel vorhandenen Expertise bzw. Ressourcen
 - Kooperation mit Industrie bzw. Wirtschaft; Technologietransfer
 - Neuer Studiengang „Nanostrukturwissenschaft – Nanostructure and Molecular Sciences“
- IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINSaT UNIKASSEL VERSITÄT

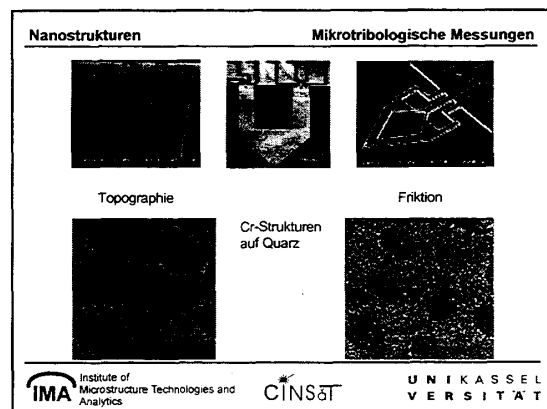
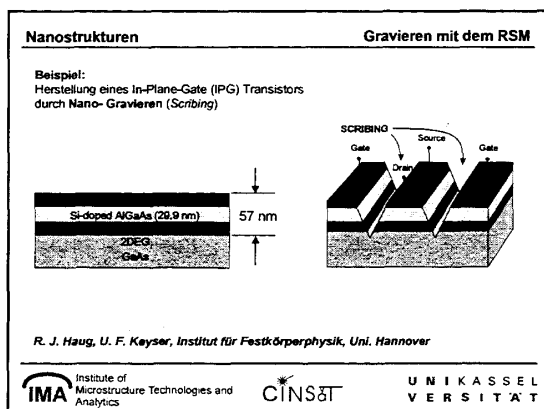
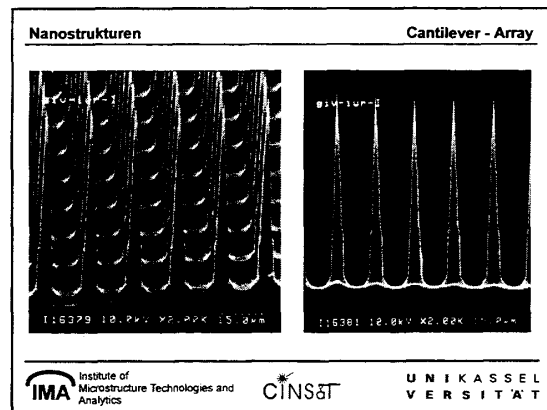
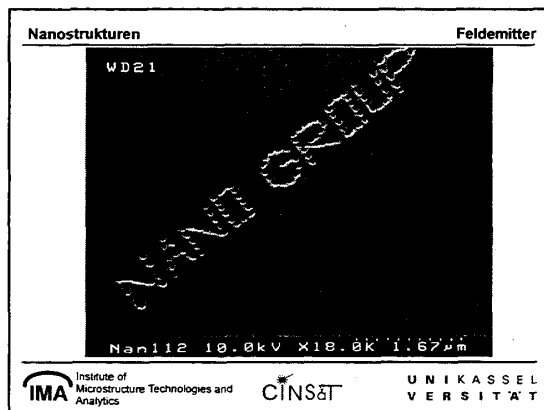
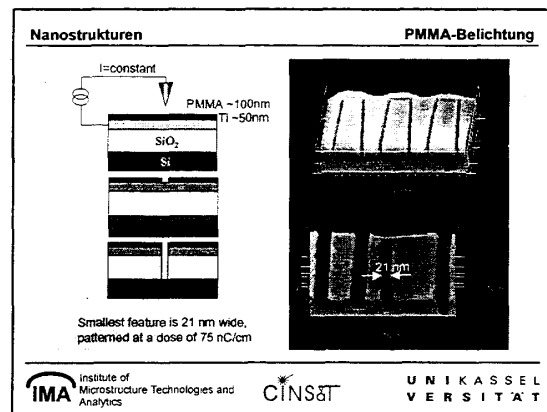
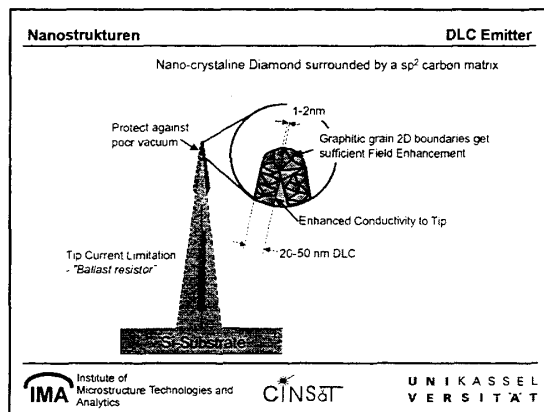




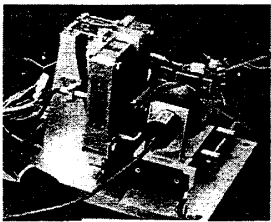








Nanostrukturen **Rosetta-Mission**

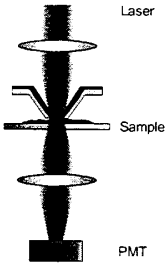


AFM-Sensors Area

Stopping of dust particles: Pillars

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **SNOM**



Aperture Probe with diameter d

Nearfield-resolution

$\Delta x_{\min} \approx d$

Challenge: $d \ll \lambda$

Resolution: $\Delta x_{\min} = \frac{\lambda}{2 \cdot NA}$ (Rayleigh-criterion)

Laser

Sample

PMT

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **SNOM**

Abtastspitzen für die optische Mikroskopie

Zwangsgeführter Prozeß

12,5 - fach

5.000 - fach

37.500 - fach

6 mm

75 mm

150 nm

50 nm

15 µm

2 µm

Kommerzieller Vertrieb

Nascatec WITec

Patent: 1) PCT/EP 99/006685 2) DE8332 filed 2002

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Coaxial-Sensor**

Apertur Probe: Transmission limited by Cut-off-Effect

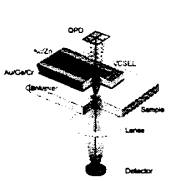
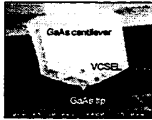
Coaxial Probe: Impedance matching

$Z = \frac{1}{2} \left(\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_2}{R_1} \right)$



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **VCSEL**


Wavelength 977 nm

Laser Diameter 4 - 14 µm

Light Power 0.5 - 0.8 mW

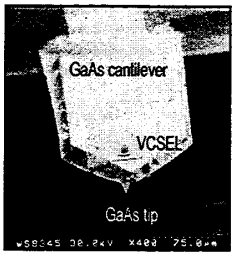
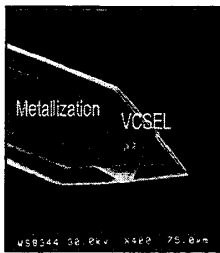
Threshold Voltage 1.78 V

parallele ultradichte und ultraschnelle optische Datenspeicherung

APL (77) 8, 1071, 2000
J. Vac. Sci. Technol. B (18) 31, 1134, 2000

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL**

GaAs cantilever

VCSEL

GaAs tip

Metalization

VCSEL

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Fluoreszenz - SNOM**

Excitation laser @ 337 nm

Fluorescence Probe

Sample

Fluorescence Light

Color Filter

PMT

large $\Delta\lambda$

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Photonische Struktur aus Si**

350 nm

2D photonic crystal produced by ICP plasma etching

Patent: DE8361 filed Sep. 2002

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Photonische Kristalle aus Silizium**

Entfernen der Kugeln

Strukturierung mit fs-Laser
Photonische Strukturen

Patent: DE8361 filed Sep. 2002
DE8361 filed Sep. 2002

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Photonische Kristalle aus SiO₂ ?**

Aufsicht

komplexe Oxidstrukturen

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Photonische Struktur aus SiO₂**

SiO₂ hollow structures produced by dry etching process

Filling up with fluorescent material

Possibility for producing DFB laser with organic fluorescent materials ?

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Photonische Kristalle**

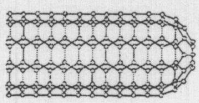
R. Hillebrand, MPI für Mikrostrukturphysik, Halle

Vollständiges Bandgap im IR

PC's: Revolution in der Opto/Elektronik ?

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL VERSITÄT

Nanostrukturen **Nanotubes für das SFM**



Properties of Carbon Nanotubes:

- Diameter: 1.2 – 100 nm (SWNT – MWNT)
- Aspect ratio: bis zu 10.000
- Axial Youngs modulus: $\approx 1-4$ TPa
- shear behaviour: „Resilience“
- electrical properties: Metal / Semiconductor
- chemical properties: functionalization possible applying carbon chemistry

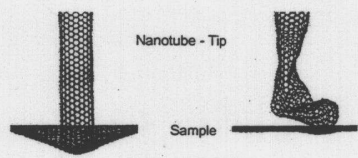
IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL
VERSITÄT

Nanostrukturen **Nanotubes für das SFM**

Critical axial stress: Euler buckling force:

$$F_{Euler} = \frac{\pi^3}{4} E_{axial} \frac{R_o^4 - R_i^4}{L^2}$$

$F_{axial} \leq F_{Euler}$ $F_{axial} > F_{Euler}$



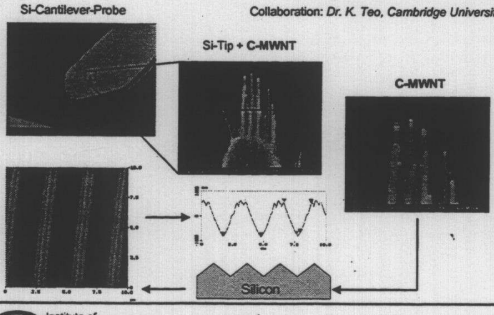
Nanotube - Tip Sample

A. Garg et al., PRL, 81, 11, 1998.

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL
VERSITÄT

Nanostrukturen **Nanotubes für das SFM**

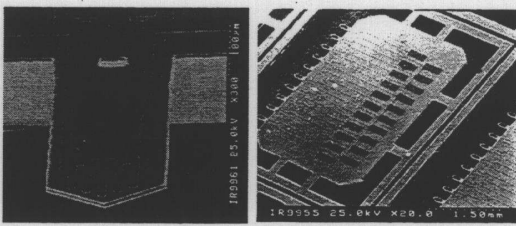
Si-Cantilever-Probe Collaboration: Dr. K. Teo, Cambridge University.



Si-Tip + C-MWNT C-MWNT

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL
VERSITÄT

Nanostrukturen **Elektronische Nase**



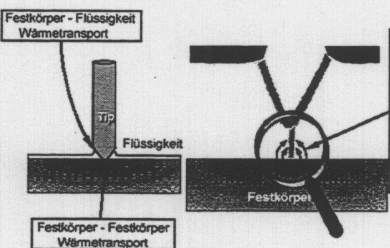
IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL
VERSITÄT

Nanostrukturen **Thermische Nano-Sonde**



IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL
VERSITÄT

Nanostrukturen **Modell Wärmeleitung**



Festkörper - Flüssigkeit Wärmtransport Flüssigkeit

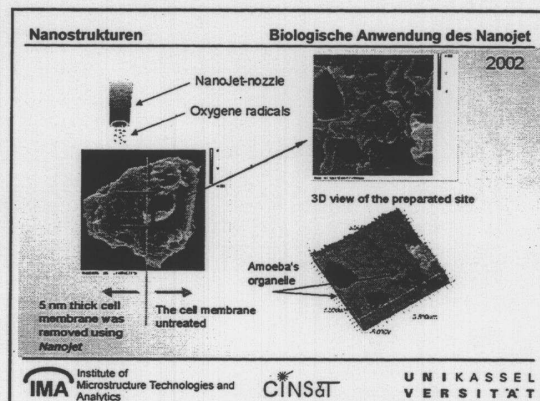
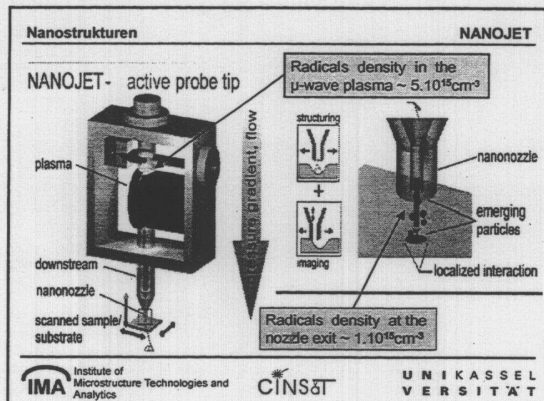
Festkörper - Festkörper Wärmtransport Festkörper

Wärmtransport durch Gasmoleküle $\lambda_L \sim 100\text{nm}$

$$\lambda_L = 8.6 \frac{p}{\eta} \sqrt{\frac{T_{des}}{M_{Gas}}}$$

η - Viskosität
 p - Druck
 M_{Gas} - Mol. Gew.

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics CINS&T UNIKASSEL
VERSITÄT



Nanostrukturen **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

Notwendigkeit für Nano-Strukturen

Technologische Probleme

Material-Aspekte

Notwendigkeit für Nano-Systeme

Dank an alle Mitarbeiter

IMA Institute of Microstructure Technologies and Analytics

CINS&T

UNIKASSEL
VERSITÄT

