



**bmb+f** - Förderschwerpunkt

Kondensierte Materie

Großgeräte der physikalischen  
Grundlagenforschung

Schlussbericht vom 07.09.2004 zum Thema:

**Charakterisierung und Nutzung eines Infrarotstrahlrohrs mit Messplatz, FT-IR-Spektrometer und Anregungslasersystem bei BESSY II**

Zuwendungsempfänger:	HU Berlin - Universitätsklinikum Charité
Projektleitung:	Prof. Dr. K.P. Hofmann
Förderkennzeichen:	05KS1KK1/4
Förderzeitraum:	01.04.2001 – 30.06.2004
Zuwendung:	334.426,00 EUR
E-Mail:	kph@charite.de
Projektträger:	Projektträger DESY-HS

**Genutzte Großgeräte:**

BESSY - BESSY

**Angaben zum Projekt:**

Veröffentlichungen:	16
Konferenzbeiträge:	35
Diplomarbeiten:	2
Dissertationen:	2
Habilitationen:	1
Patente:	0

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Schlussbericht-Kurzfassung

Zuwendungsempfänger: **Humboldt-Universität zu Berlin, Charité**

Projektleitung: **Prof. Dr. Klaus Peter Hofmann**

### **Charakterisierung und Nutzung eines Infrarotstrahlrohrs mit Messplatz, FT-IR-Spektrometer und Anregungslasersystem bei BESSY II**

Die Beamline nutzt die infrarote Strahlung aus dem homogenen Magnetfeld des zweiten Dipols am Segment 2 (D2.2) des Speicherrings. Die Infrarot-Experimente sind über diesem Segment auf dem Dach des Strahlenschutz隧nells montiert. Dieser erschütterungsarme Aufbau garantiert eine feste Kopplung der Experimente zur Quelle im Speicherringtunnel. Da der Platz auf dem Dach begrenzt ist, wurde eine Arbeitsbühne neben dem Tunnel errichtet, auf der die Steuerelektronik der Experimente untergebracht wird. Eine Transferoptik führt die IR-Strahlung von der Dipolquelle durch die Decke des Strahlungsschutz隧nells. Der vollständige Strahlengang ist mit Hilfe von Raytracing-Berechnungen mit dem Ziel der Erhaltung der Brillanz optimiert worden. Für den Strahlungstransfer vom Speicherring zum Meßplatz auf der Decke des Tunnells wurde bei BESSY eine anamorphotische Optik entwickelt um mit ihr der räumlichen Tiefe der Quelle Rechnung zu tragen.

In den letzten drei Jahren wurde bei BESSY ein Verfahren zur Generierung von intensiver THz-Strahlung entwickelt. Dieser ferninfrarote Bereich der elektromagnetischen Strahlung an der Grenze der Mikrowellen war bisher den Experimentatoren nur schwer zugänglich, da es an breitbandigen, stabilen und leistungsstarken Quellen mangelte. Der auch als „THz gap“ bezeichnete Wellenlängenbereich konnte nun durch eine neue Quelle bei BESSY bereichert werden, bei der im Speicherring die vom Elektronen-Bunche emittierten Wellen sich kohärent überlagern. Dabei steigt die Intensität quadratisch mit der Anzahl der beteiligten Elektronen an. Der Brillanzgewinn gegenüber der normalen Synchrotronstrahlung in diesem Wellenlängenbereich beträgt dabei etwa 4 Größenordnungen für die sogenannte „low alpha“ Einstellung des Speicherrings.

Ein innerhalb des Projektes entwickeltes rechnergesteuertes Polarisationsgoniometer wurde Ende 2002 am Bruker FTIR Spektrometer an der IRIS Beamline in Betrieb genommen. Dieser Aufbau ist auf die besonderen Eigenschaften der Synchrotronstrahlungsquelle angepasst und erlaubt in seiner aktuellen Konfiguration polarisationsabhängige Transmissions-, Reflektions- und Ellipsometriemessungen im MIR ( $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ) für Einfallswinkel zwischen  $30^\circ - 90^\circ$ . Die Synchrotronstrahlungsquelle hat eine wesentlich höhere Brillanz als die herkömmlich verwendeten Strahlungsquellen zudem ist die Synchrotronstrahlung polarisiert. Durch Ausnutzen dieser Eigenschaften ergibt sich dadurch für Ellipsometrieexperimente an kleinen Proben ( $<1 \text{ mm}^2$ ) ein Intensitätsvorteil von mehr als einer Größenordnung. Für polarisationsabhängige Reflexionsmessungen mit moderaten Öffnungswinkeln sind dadurch nun laterale Auflösungen im Submillimeterbereich möglich.

## Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: **Humboldt-Universität zu Berlin, Charité**

Projektleitung: **Prof. Dr. Klaus Peter Hofmann**

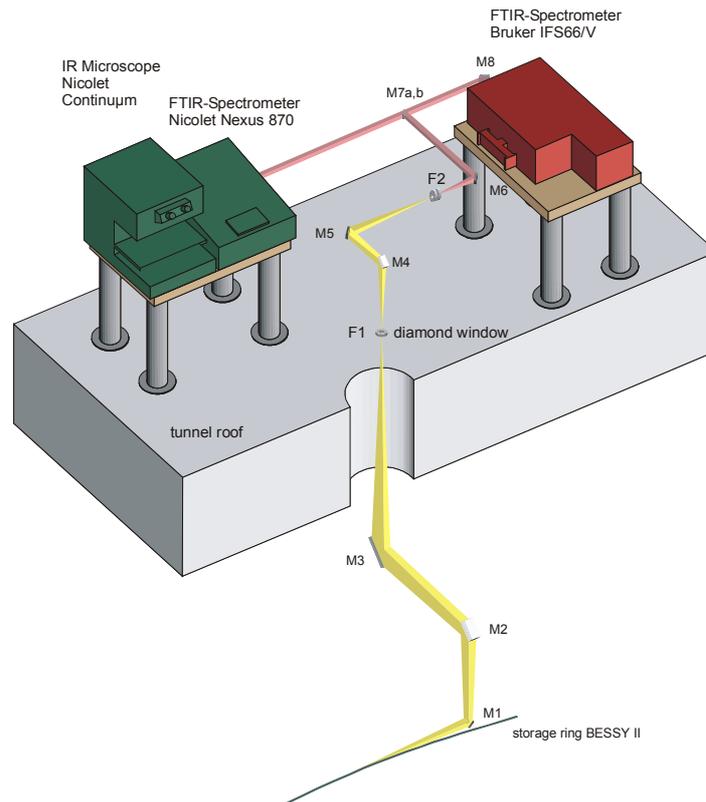
### **Charakterisierung und Nutzung eines Infrarotstrahlrohrs mit Messplatz, FT-IR-Spektrometer und Anregungslasersystem bei BESSY II**

#### **Die IR-Beamline IRIS**

Die Beamline nutzt die infrarote Strahlung aus dem homogenen Magnetfeld des zweiten Dipols am Segment 2 (D2.2) des Speicherrings. Die Infrarot-Experimente sind über diesem Segment auf dem Dach des Strahlenschutz隧nells montiert. Dieser erschütterungsarme Aufbau garantiert eine feste Kopplung der Experimente zur Quelle im Speicherringtunnel. Da der Platz auf dem Dach begrenzt ist, wurde eine Arbeitsbühne neben dem Tunnel errichtet, auf der die Steuerelektronik der Experimente untergebracht wird. Weiterhin bietet die Bühne genügend Platz ( $4 \times 7 \text{ m}^2$ ) für die Experimentatoren zur Probenpräparation und Auswertung der Messungen.

Eine Transferoptik führt die IR-Strahlung von der Dipolquelle durch die Decke des Strahlungsschutz隧nells. Der vollständige Strahlengang ist mit Hilfe von Raytracing-Berechnungen mit dem Ziel der Erhaltung der Brillanz optimiert worden. Für den Strahlungstransfer vom Speicherring zum Meßplatz auf der Decke des Tunnells wurde bei BESSY eine anamorphotische Optik entwickelt [Peatman and Schade, 2001], um mit ihr der räumlichen Tiefe der Quelle Rechnung zu tragen.

Eine konventionelle Wasserkühlung des ersten Spiegels bei IR-Außlaßsystemen wurde bisher nur für Leistungsdichten bis  $5 \text{ W/mm}^2$  realisiert. Ihr Einsatz beim BESSY II IR-Außlaßsystem kommt aufgrund der hohen Leistungsdichten nicht in Frage. Ein Ausblenden der harten Synchrotronstrahlung bereits vor dem Spiegel ist wegen der geringen vertikalen Ausdehnung des Strahlprofils von etwa  $0.5 \text{ mm}$  (90 % der Leistung) nicht praktikabel. Es wurde deshalb der Einsatz von zwei Planspiegeln, oberhalb bzw. unterhalb der Ringebene sowie einem Absorber dahinter, favorisiert. Der zusammengesetzte Vorspiegel lenkt die Strahlung senkrecht auf den ersten konischen Spiegel. Dieser richtet die Strahlung waagrecht auf einem zweiten Zylinderspiegel, der die Strahlung mit einer Ablenkung von  $90^\circ$  nach oben durch ein Diamantfenster lenkt. Der Zwischenfokus befindet sich dann über der Decke des Tunneldaches hinter dem Diamantfenster, welches die folgende Optik zu den Experimenten von der Vakuumumgebung des Ringes trennt (Abb. 1).



**Abb 1:** Strahlengang der IR Beamline mit den einzelnen Meßplätzen.

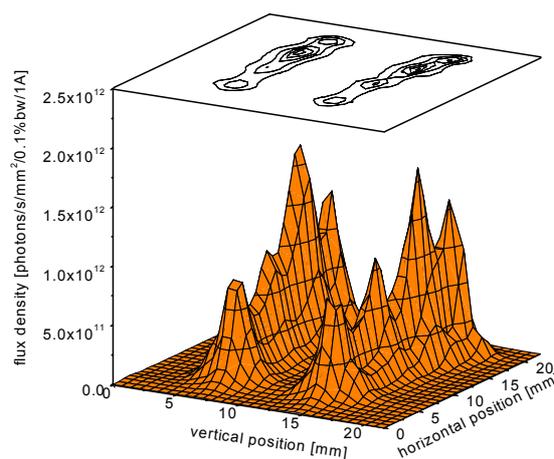
Die Höhe der Standarddipolkammer bei BESSY II reicht nicht aus, um in vertikaler Richtung entsprechend des großen natürlichen Öffnungswinkels die infrarote Strahlung ausreichend passieren zu lassen. Weiterhin steht am Dipolaustritt der Kammer nicht genügend Platz zur Verfügung, um die Komponenten des ersten Planspiegels aufzunehmen. Eine Dipolkammer wurde nun so konzipiert, dass ein vertikaler Akzeptanzwinkel von bis zu 40 mrad möglich ist, ohne die Speicherringoptik in Mitleidenschaft zu ziehen. Um eine genaue Positionierung des Vorspiegels zu erzielen, wurde eine Fixierung am Ende der Dipolkammer hinzugefügt. Weiterhin sind entsprechende Verstrebungen vorhanden, die eine Dejustierung des Spiegels während der Evakuierung der Kammer ausschließen sollen. Zusätzliche Absorber innerhalb der Kammer verhindern das ungewollte Aufheizen von Komponenten des Vorspiegels in der Ringebene.

Der Vorspiegel besteht aus zwei wassergekühlten Planspiegeln. Als Trägermaterial wird Glidcop verwendet. Der Zwischenraum zwischen den Teilsiegeln lässt den harten Strahlungsfächer passieren und ist zwischen 3-6 mm variabel einstellbar. Durch eine pneumatische Einrichtung kann der Vorspiegel mit seiner Halterung unter Vakuum aus der Ringebene geführt werden. Damit entsteht die Möglichkeit, mit einem darunter befindlichen Ventil die komplette Beamline vom Ringvakuum zu trennen.

Die beiden fokussierenden Spiegel M2 und M3 sind auf einer hysterese-freien monolithischen Montierung befestigt. Ihre Position kann von außen über Stellelemente justiert werden. Zwischen den Spiegeln, mechanisch entkoppelt über Faltenbälge, befindet sich das Pumpsystem. Die beiden senkrecht aufsteigenden UHV-Rohre sind mit einer Hexapod-Aufhängung an dem massiven Tunneldach befestigt und garantieren eine stabile und vibrationsarme Fixierung der Spiegel. Um die Gewichtskraft des Vakuumsystems auf die Dipolkammer zu minimieren, ist die eine Hexapod-Aufhängung an einer Federscheibe befestigt. Im Vakuumsystem befinden sich an geeigneten Stellen Fenster, durch die man die Strahlage über CCD-Kameras kontrollieren kann.

Die Optik der Beamline bis zum Diamantfenster befindet sich unter UHV. Der weitere Strahlenverlauf zu den Experimenten ist für Vorvakuum (VV) ausgelegt. Hier refokussiert eine weitere anamorphotische Anordnung von zwei Zylinderspiegeln die Strahlung im Bereich zweier Fensterventile mit Quarz und KBr als Fenstermaterial.

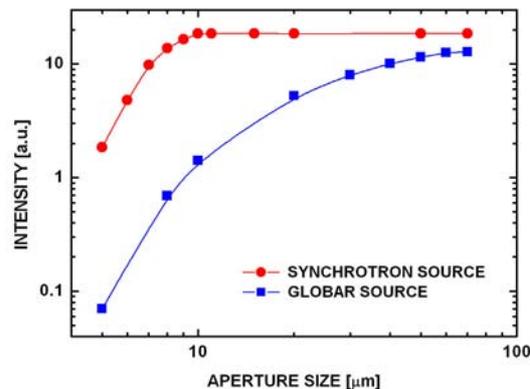
Die Fenster ermöglichen das Justieren von Experimenten im MIR und FIR-Bereich in Luft, ohne das Diamantfenster mit Atmosphärendruck auf einer Seite zu belasten. Die divergente Strahlung hinter dem Fensterbereich wird dann über ein Torroidspiegel kollimiert und mit Hilfe eines planen Schiebepiegels entweder direkt über ein KBr Fenster dem mit trockener Luft gespültem FT IR Spektrometer Nexus 870 und dem IR Mikroskop Continuum zugeführt, oder über einen weiteren Torroidspiegel M8 in der Ebene der Jacquinotblende des Vakuumspektrometers IFS 66/sv fokussiert. An diesem Spektrometer befindet sich auch das innerhalb des Projektes entwickelte spektrale MIR-Ellipsometer. Eine Zusammenfassung der Daten der Beamline sowie Messungen zur Performance sind in [Schade et. al, 2002] dargestellt.



**Abb. 2:** Verteilung des absoluten Photonenflusses auf einer Ebene 1200 mm hinter dem ersten Fokus.

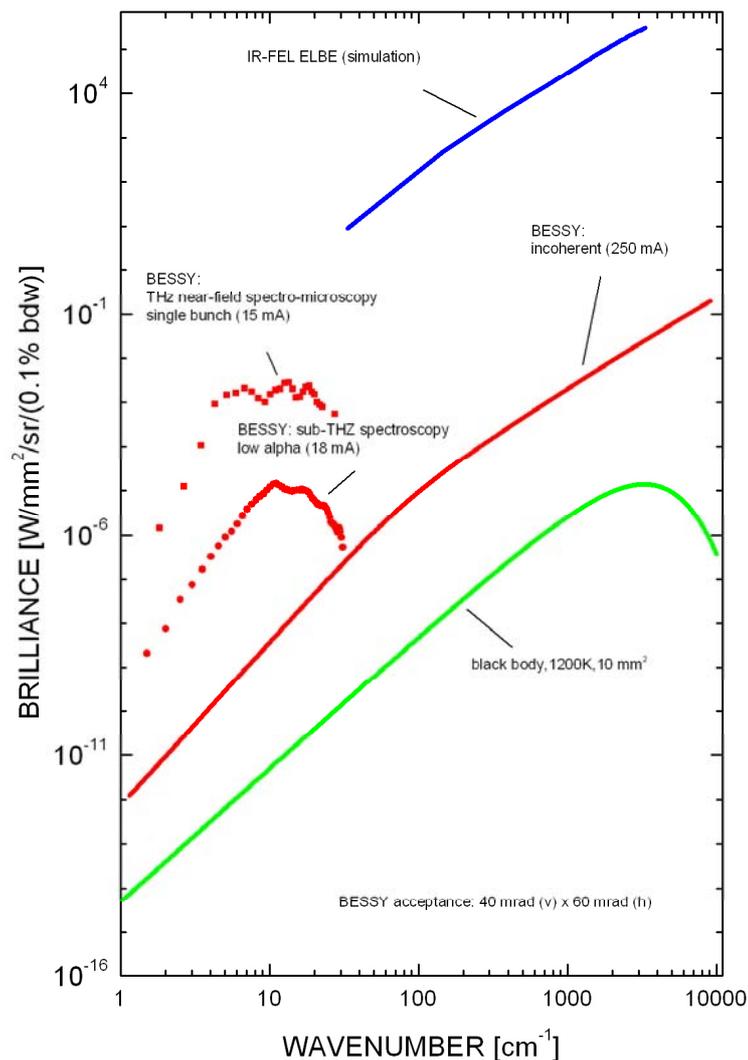
Parallel zum Aufbau wurden Testmessungen an Teilabschnitten der Beamline mit einem abbildenden Ellipsometer (Schade et. al, 2000) im nahen und mittlerem Infrarotbereich durchgeführt. Die Abbildung 2 zeigt die Verteilung des absoluten Photonensflusses auf einer Ebene 1200 mm hinter dem ersten Fokus. Der Einfluß des geteilten ersten Spiegels entlang der horizontalen Richtung ist deutlich erkennbar. Aus der mit dem Ellipsometer experimentell ermittelten Verteilung der Stokes Parameter lassen sich der Betrag des Verhältnisses der Amplituden,  $\tan \Psi$ , der horizontal und vertikal linear polarisierten Strahlung sowie deren Phasenverschiebung,  $\Delta$ , zueinander berechnen (Schade et al., 2002).

In der Abbildung 3 sind die am Mikroskop gemessenen MIR-Intensitäten der Synchrotronstrahlungsquelle und der Globar-Quelle für verschiedene Mikroskopblenden dargestellt. Die Blendenabmaße entsprechen der zu erwartenden lateralen Auflösung am Mikroskop. Während mit kleiner werdender Blende für den Globar die Intensität drastisch abnimmt (logarithmische Darstellung), verändert sich die Intensität der Synchrotronquelle bis etwa 10  $\mu\text{m}$  Blendengröße nicht, was in etwa dem erzielten Fokusbereich entspricht. Verringert man die Blende weiter, fällt auch die Intensität der Synchrotronstrahlung ab. Bei einer minimalen Apertur von  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  ist sie jedoch immer noch 30 mal höher als die Intensität des Globars. Spätestens hier ist ein sinnvolles Arbeiten mit dem Globar nicht mehr möglich.



**Abb. 3:** Intensitätsvergleich der beiden Strahlungsquellen am IR Mikroskop für verschieden Blendengrößen.

In den letzten drei Jahren wurde bei BESSY ein Verfahren zur Generierung von intensiver THz-Strahlung entwickelt. Dieser ferninfrarote Bereich der elektromagnetischen Strahlung an der Grenze der Mikrowellen war bisher den Experimentatoren nur schwer zugänglich, da es an breitbandigen, stabilen und leistungsstarken Quellen mangelte. Der auch als „THz gap“ bezeichnete Wellenlängenbereich konnte nun durch eine neue Quelle bei BESSY bereichert werden (Abo-Bakr et al., 2002a), bei der im Speicherring die vom Elektronen-Bunche emittierten Wellen sich kohärent überlagern. Dabei steigt die Intensität quadratisch mit der Anzahl der beteiligten Elektronen an. Während an LINACs und anderen Speicherringen eine erhöhte Emission im THz-Bereich durch kurze Elektronen Bunches oder durch Instabilitäten auch beobachtet wurde, gelang es BESSY bisher als einziger

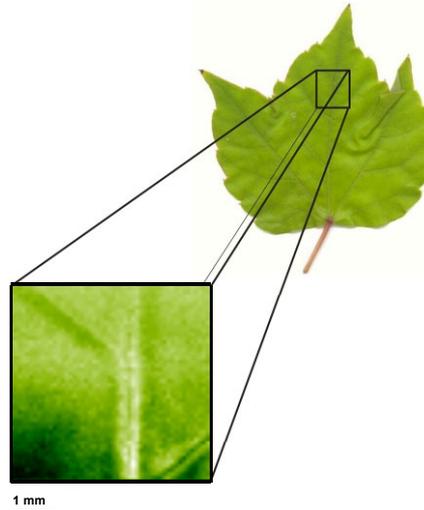


**Abb. 4:** Die Brillanz der infraroten Synchrotronstrahlung der Beamline für einen typisch gespeicherten Strom von 250 mA im Vergleich zur Brillanz der Globarquelle und der Brillanz der beiden THz Quellen.

Synchrotronstrahlungsquelle THz-Strahlung in einer Qualität anzubieten, die den Einsatz von konventionellen rapid scan FT-IR Spektrometern ermöglicht [Abo-Bakr et al., 2002b]. Der Brillanzgewinn gegenüber der normalen Synchrotronstrahlung in diesem Wellenlängenbereich beträgt dabei etwa 4 Größenordnungen für die sogenannte „low alpha“ Einstellung des Speicherrings (Abbildung 4).

Einen Brillanzgewinn von etwa 8 Größenordnungen wird im „single bunch“ Betrieb erreicht. Hier beträgt die spektral integral abgestrahlte Leistung im THz-Bereich etwa 1 W. Die Anwendbarkeit dieser neuen Quelle wurde durch spektroskopische Experimente an optimal dotierten Supraleitern (M. Martin, ALS, Berkeley et al.) und Halbleitern (H.-W. Hübers, DLR) sowie auf dem Gebiet der Nahfeldmikroskopie (Schade and Holldack, BESSY, siehe

Abbildung 5) bei BESSY gezeigt. Die Arbeiten auf dem Gebiet der THz-Strahlung bei BESSY fanden weltweite Beachtung in Fachjournalen und in der Tagespresse und hatten wesentlichen Anteil bei der Entscheidungsfindung zum Bau eines neuen, nur für den THz-Bereich optimierten, zusätzlichen Speicherrings bei der ALS in Berkeley.



**Abb. 5:** Nahfeld-Image eines lebenden Blattes, aufgenommen mit einer lateralen Auflösung von 130  $\mu\text{m}$  bei etwa 1 mm Wellenlänge. Der gezeigte Kontrast ist durch unterschiedliche Konzentrationen von Wasser hervorgerufen.

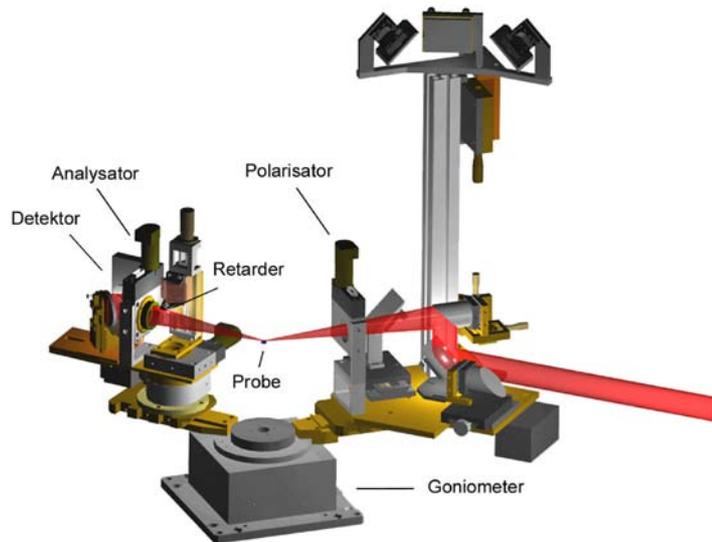
### Referenzen

- Schade, U., Röseler, A., Korte, E.H., Scheer, M., and Peatman, W.B (2000) *Nucl. Instr. Methods A*, 455, 476-486.
- Schade, U., A. Röseler, E.H. Korte, F. Bartl, K.P. Hofmann, T. Noll, W.B. Peatman (2002) *Rev. Sci. Instrum.* **73** 1568-1570.
- M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, G. Wüstefeld, H.-W. Hübers (2002a) *Phys. Rev. Lett.* **88** 254801.
- M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, P. Kuske, W. B. Peatman, U. Schade, G. Wüstefeld, H.-W. Hübers (2002b) *Phys. Rev. Lett.* **90** 094801.

### IR-Ellipsometrie

Ein innerhalb des Projektes entwickeltes rechnergesteuertes Polarisationsgoniometer (Abb 6) wurde Ende 2002 am Bruker FTIR Spektrometer an der IRIS Beamline in Betrieb genommen [Gensch et al., 2003]. Dieser Aufbau ist auf die besonderen Eigenschaften der Synchrotronstrahlungsquelle (kleine Quellgröße, kleiner Öffnungswinkel, Polarisationsabhängigkeit) angepasst und erlaubt in seiner aktuellen Konfiguration polarisationsabhängige Transmissions-, Reflektions- und Ellipsometriemessungen im MIR ( $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ) für Einfallswinkel zwischen  $30^\circ - 90^\circ$ . Die Synchrotronstrahlungsquelle hat eine wesentlich höhere Brillanz als die herkömmlich verwendeten Strahlungsquellen zudem

ist die Synchrotronstrahlung polarisiert. Durch Ausnutzen dieser Eigenschaften ergibt sich dadurch für Ellipsometrieexperimente an kleinen Proben ( $<1 \text{ mm}^2$ ) ein Intensitätsvorteil von mehr als einer Größenordnung. Für polarisationsabhängige Reflexionsmessungen mit moderaten Öffnungswinkeln sind dadurch nun laterale Auflösungen im Submillimeterbereich möglich. Die quantitative Auswertung von ellipsometrischen Spektren kann zur gleichzeitigen Bestimmung der Schichtdicken und anisotropen vibronischen und elektronischen Eigenschaften genutzt werden [Korte et al., 2002]. Im Vergleich zu herkömmlichen Labormessungen können mit dem an der IRIS Beamline installierten Messaufbau wesentlich kleinere Proben, bzw. Probenbereiche untersucht werden [Hinrichs et al., 2003].



**Abb. 6:** Schematischer Aufbau des Polarisationsgoniometers. Der Messaufbau kann mit trockener Luft gespült werden. Alle Drehelemente sind von außen ansteuerbar.

In der ‚Commissioning Phase‘ des Strahlrohres wurde die IR-Synchrotron Ellipsometrie in Kooperation mit BESSY, dem DLR, der TU Berlin, dem FZ Jülich, dem IFP Dresden und der University Milwaukee zur Analyse von Mineralien, Festkörperoberflächen, Hochtemperatursupraleitern, Proteinkristallen und dünnen Polymerschichten eingesetzt. Es konnten einige zehn Nanometer dicke Polyimidefilme auf einem  $1 \text{ mm}^2$  großen Siliziumsubstrat ellipsometrisch untersucht werden und die anisotrope Verteilung von Schwingungsbanden und damit die mittlere Orientierung der Moleküle quantitativ bestimmt werden [Hinrichs et al., 2003]. Solche Messungen sind bei Verwendung einer Laborlichtquelle (Globar) nicht mehr sinnvoll, wogegen die höhere Signalintensität bei Nutzung der Synchrotronstrahlungsquelle (etwa 20 mal größer bei  $1000 \text{ cm}^{-1}$ ) dies ermöglicht [Hinrichs et al., 2003].

Für die Untersuchung von Halbleiteroberflächen nach Gasauflüssen wurde in Zusammenarbeit mit der TU Berlin eine Ultrahochvakuum (UHV) Kammer entwickelt

Diese Kammer wurde Anfang 2003 erstmals erfolgreich eingesetzt. Als komplementäre Meßmethoden können an dieser Kammer Reflexionsanisotropiemessungen (RAS) im sichtbaren Spektralbereich und Ellipsometriemessungen im MIR durchgeführt werden. Die Erzeugung einer reinen Oberfläche nach dem Heizen eines Siliziumsubstrates mit einer 2

nm dicken Oxidschicht konnte ellipsometrisch beobachtet werden. Für die weitere Nutzung der Präparationskammer sind Strahlzeiten zur Untersuchung von Hochtemperatur-supraleitern, dünnen Molekülfilmen auf Halbleiteroberflächen und nanostrukturierten Siliziumoberflächen vorgesehen. Die Erweiterung des Spektralbereiches des Ellipsometers in das Ferne Infrarot ist geplant.

### *Referenzen*

- Gensch M., Hinrichs K., Röseler A., Korte E.H., Schade U.; Instrumentation for FT-IR reflection spectroscopy with synchrotron radiation, *Anal. Bioanal. Chem.* **376** (2003) 626.
- Korte E.H.; Schade U.; Peatman W.B.; Röseler A.; Hinrichs K.: IR ellipsometric view on monolayers: towards resolving structural details, *Anal. Bioanal Chem.* **374** (2002) 665-671.
- Hinrichs K., Gensch M., Röseler A., Korte E.H., Sahre K., Eichhorn K.-J., Esser N., Schade U.; FT-IR synchrotron ellipsometry for studying the anisotropy of small samples, *Appl. Spectros.* **57**, (2003), 1250 -1253.

## Schlussbericht - Veröffentlichungen

Zuwendungsempfänger: **Humboldt-Universität zu Berlin**

Projektleitung: **Prof. Dr. Klaus Peter Hofmann**

### Charakterisierung und Nutzung eines Infrarotstrahlrohrs mit Messplatz, FT-IR-Spektrometer und Anregungslasersystem bei BESSY II

#### Referierte Artikel

1. U. Schade, A. Röseler, E.H. Korte, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*Measured characteristics of infrared edge radiation from BESSY II*,  
Nucl. Instr. and Meth. A **455**, 476-486 (2000).
2. W.B. Peatman, and U. Schade  
*A Brilliant Infrared Light Source at BESSY*,  
Rev. Sci. Instr. **72**, 1620-1624 (2001).
3. U. Schade, A. Röseler, E. H. Korte, F. Bartl, K. P. Hofmann, T. Noll, and W. B. Peatman, *New Infrared Spectroscopic Beamline at BESSY II*,  
Rev. Sci. Instr. **73** (2002) 1568-1570.
4. K.H. Korte, U. Schade, W.B. Peatman, A. Röseler, D. Tsankov, K. Hinrichs  
*Infrared ellipsometric view on monolayers: towards resolving structural details*,  
Anal. Bioanal. Chem. **374** (2002) 665-671.
5. U. Schade and W.B. Peatman  
*The Synchrotron Infrared Activities at BESSY*,  
J. Biol. Phys. **29** (2003) 309-312.
6. M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, H.-W. Hübers, P. Kuske, W.B. Peatman, U. Schade, G. Wüstefeld  
*Brilliant, Coherent Far Infrared (THz) Synchrotron Radiation*,  
Phys. Rev. Lett. **90** (2003) 094801.
7. M. Gensch, K. Hinrichs, A. Röseler, E.H. Korte, and U. Schade,  
*Instrumentation for FT-IR reflection spectroscopy with synchrotron radiation*.  
Anal. Bioanal. Chem. **376** (2003) 626-630.
8. K. Hinrichs, M. Gensch, A. Röseler, E.H. Korte, K. Sahre, K.-J. Eichhorn, N. Esser,  
and U. Schade,  
*FT-IR synchrotron ellipsometry for studying the anisotropy of small organic samples*,  
Appl. Spectros., **57** (2003) 1250-1253.
9. Hinrichs K., Röseler A., Gensch M., Korte E.H.,  
*Structure analysis of organic films by mid-infrared ellipsometry*, accepted for Thin  
Solid Films (2003)

10. Koch-Müller M., Matsyuk S. S. and Wirth R.  
*Hydroxyl in omphacites and omphacitic clinopyroxenes beneath the Siberian platform from upper mantle to lower crust origin.* American Mineralogist, **89**, 921-931, 2004.
11. Przybylski P., B. Brzezinski, F. J. Bartl,  
*The Schiff Base of Gossypol with 3,6,9,12,15,18,21,24-octaoxa-pentacosylamine complexes and monovalent cations studied by ESI MS, <sup>1</sup>H NMR, FT-IR, as well as PM5 Semiempirical Methods,* submitted to J. Phys., Chem. **74**, 273- 286 2004
12. Przybylski P, N. Ilkevych, G. Schroeder, B. Brzezinski, F. J. Bartl  
*The Schiff Base of Gossypol with 3,6,9-trioxa-decylamine Complexes with Monovalent Cations Studied by MS <sup>1</sup>H NMR, FT-IR, as well as PM5 Semiempirical Methods,* Biopolymers **73** 470-483, 2003.
13. M. Koch-Müller, P. Dera, Y. Fei, B. Reno, N. Sobolev, E. Hauri, and R. Wysochocanski,  
*OH in synthetic and natural coesite,* American Mineralogist **88** 1436-1445, 2003.
14. U. Schade, R. Wäsch, and L. Moroz  
*Near-infrared reflectance spectroscopy of Ca-rich clinopyroxenes and prospects for remote spectral characterization of planetary surfaces.* Icarus **168** (2004) 80-92.
15. U. Schade, K. Holldack, P. Kuste, G. Wüstefeld, H.-W. Hübers  
*THz near-field imaging employing synchrotron radiation,* Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 1422-1424.
16. E.J. Singley, M. Abo-Bakr, D.N. Basov, J. Feikes, K. Holldack, H.-W. Hübers, P. Kuske, M.C. Martin, W.B. Peatman, U. Schade, G. Wüstefeld  
*New scientific opportunities with intense coherent THz synchrotron radiation: Measuring the Josephson plasma resonance in Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8</sub>* Phys. Rev. B. **69**, 092512 (2004).

### Konferenzbeiträge/Proceedings/Talks

1. F. Bartl, U. Schade, K.P. Hofmann, G. Illing, E.H. Korte, A. Röseler, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*IRIS: An Infrared Beamline at BESSY II – Investigation of Biological Systems Using Infrared Synchrotron Radiation,* Proceedings: 12<sup>th</sup> International Conference on Fourier Transform Spectroscopy, eds. K. Itoh, and M. Kasumi, Tokyo, 1999, 189-190.

2. U. Schade, F. Bartl, K.P. Hofmann, G. Illing, E.H. Korte, A. Röseler, T. Noll, and W.B. Peatman  
*IRIS: An Infrared Beamline at BESSY II*,  
Far-IR Workshop, Berkeley, 20. Oct. 1999.
3. U. Schade, F. Bartl, K.P. Hofmann, G. Illing, E.H. Korte, A. Röseler, T. Noll, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*IRIS: An Infrared Beamline at BESSY II*.  
11<sup>th</sup> Synchrotron Radiation Instrumentation, Stanford, AIP Conf. Proc. **521**, 51-55 (2000).
4. U. Schade, F. Bartl, K.P. Hofmann, E.H. Korte, A. Röseler, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*Ellipsometrische Untersuchungen zur infraroten Randstrahlung am Elektronenspeicherring BESSY II*,  
Workshop Ellipsometrie, Stuttgart, 23. Feb. 2000.
5. U. Schade, A Röseler, E.H Korte, T. Noll, and W.B Peatman  
*IRIS: A Synchrotron Infrared Beamline at BESSY II*.  
7th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, Berlin, 24. Aug. 2000.
6. U. Schade, A Röseler, E.H Korte, M. Scheer, and W.B Peatman  
*Measured polarization characteristics of IR edge radiation*,  
7th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, Berlin, 25. Aug. 2000.
7. U. Schade, F. Bartl, K.P. Hofmann, G. Illing, E.H. Korte, A. Röseler, T. Noll, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*Investigation of Edge Radiation at BESSY II*,  
invited talk: Future Applications of Bright and Ultra-Bright Accelerator Based Infrared Source, Daresbury, 15. Sept. 2000.
8. U. Schade, A. Röseler, E.H. Korte, F. Bartl, K. P. Hofmann, T. Noll, and W.B. Peatman,  
*New Infrared Spectroscopic Beamline at BESSY II*,  
12<sup>th</sup> U.S. National Synchrotron Radiation Instrumentation Conference, Madison, 23. August 2001.
9. U. Schade, A. Röseler, E.H. Korte, F. Bartl, K.P. Hofmann, T. Noll, and W.B. Peatman,  
*New Facility for Infrared Spectroscopy*,  
International Workshop on Infrared Microscopy using Synchrotron Radiation and Free Electron Laser, Porquerolles Island, 11. Sept. 2001.
10. U. Schade, A. Röseler, E.H. Korte, T. Noll, W.B. Peatman  
*Ellipsometrische Untersuchungen zur IR Synchrotronstrahlung an der IR-Beamline bei BESSY II*. 2. Workshop Ellipsometry, Berlin, 18. – 20. Febr. 2002.
11. U. Schade  
The Synchrotron IR Project at BESSY  
invited talk: *Workshop on Synchrotron-based X-ray and IR Microscopy*, Grenoble, 5. – 6. April, 2002.

12. U. Schade, M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, H.-W. Hübers, W.B. Peatman, G. Wüstefeld *Powerful, Steady State, Coherent THz-Synchrotron Radiation at BESSY invited talk: Workshop on Application of Coherent Infrared Synchrotron Radiation*, Berkeley, 11. Oct., 2002.
13. T. Noll, C. Kalus, W.P. Peatman, U. Schade, W. v. Scheibner  
*The Monolithic Two Axis Flexure Joined Mirror Support and the Mechanical Design of the Infrared Beamline*  
2<sup>nd</sup> Intern. Workshop on Mechanical Engineering Design of Synchrotron Radiation Equipment and Instrumentation (MEDSI02), Argonne, 5.-6. Sept., 2002.
14. M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, H.-W. Hübers, U. Schade, G. Wüstefeld  
*Powerful, Steady State, Coherent Synchrotron Radiation at BESSY II*,  
European Particle and Accelerator Conference 2002, Paris, Proceedings of EPAC 2002, pp. 778-780.
15. M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, H.-W. Hübers, W.B. Peatman, U. Schade, G. Wüstefeld  
*Powerful, Steady State, Coherent THz-Synchrotron Radiation at BESSY II*,  
THz-Bridge Workshop " THz Radiation in Biological Research, Investigations on Diagnostics, and Study on Potential Genotoxic Effects ", Capri, 22. Sept. – 2. Oct., 2002.
16. U. Schade and W.B. Peatman  
*The Synchrotron Infrared Activities at BESSY*,  
THz-Bridge Workshop " THz Radiation in Biological Research, Investigations on Diagnostics, and Study on Potential Genotoxic Effects ", Capri, 22. Sept. – 2. Oct., 2002.
17. U. Schade, R. Wäsch, L. Moroz  
*Near-Infrared Reflectance Spectroscopy of Calcic Pyroxenes and Implications for Compositional Characterization of Meteorites and Asteroids*,  
Asteroids, Comets, Comets – ACM2002, Berlin, 29. July – 2. Aug., 2002.
18. K. Holldack, M. Abo-Bakr, J. Feikes, H.-W. Hübers, W.B. Peatman, U. Schade, G. Wüstefeld  
*Powerful, Steady State, Coherent THz-Synchrotron Radiation at BESSY II*,  
European Round Table Workshop on Advanced IR-Experiments using Synchrotron Radiation, Berlin, 18. – 19. Nov., 2002.
19. K. Hinrichs, M. Gensch, U. Schade A. Röseler and E.H. Korte  
*Polarization dependent mid-infrared spectroscopy*,  
European Round Table Workshop on Advanced IR-Experiments using Synchrotron Radiation, Berlin, 18. – 19. Nov., 2002.
20. U. Schade, M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, H.-W. Hübers, W.B. Peatman, G. Wüstefeld  
*Coherent THz-Radiation at BESSY II*  
BESSY Users Meeting, Berlin, 5. -6. Dec., 2002.

21. Hinrichs K.; Gensch M.; Schade U.; Esser N.; Röseler A. und Korte E.H.: *Infrarot-Ellipsometrie zur in-situ Charakterisierung: Instrumentierung am IRIS-Strahlrohr bei BESSY II*, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, 11.-15.03.2002, Poster.
22. Gensch M.; Hinrichs K.; Korte E.H.; Schade U.; Peatman W.B.; Esser N.; Hofmann K.P.; *Synchrotron Radiation for Infrared Micro-Spectroscopy*, Workshop on „Application of Synchrotron Radiation in Chemistry“, Hamburg, 2002, Poster.
23. Gensch M.; Hinrichs K.; Schade U.; Esser N.; Korte E.H.; Röseler A.; *Infrared ellipsometry for in-situ characterization of thin layers: instrumentation for the IRIS beamline at BESSY II*, Euroanalysis 12, Dortmund Sept. 2002, Vortrag.
24. Gensch M.; Hinrichs K.; Schade U.; Esser N.; Röseler A.; Korte E.H.; *FT-IR Synchrotron Ellipsometrie für die Untersuchung kleiner anisotroper Proben*; DPG Frühjahrstagung, Arbeitskreis Oberflächenphysik, Dresden, März 2003, Poster.
25. Hinrichs K.; Gensch M.; Korte E.H.; Röseler A., Schade U.; Esser N.: *Polarisation dependent mid-infrared Spectroscopy*, IR-Workshop bei BESSY, 18./19.11. 2002 in Berlin, Vortrag.
26. Gensch M.; Hinrichs K.; Röseler A.; Korte E.H.; Sahre K.; Eichhorn K.J.; Esser N.; Schade U.; *Polarization dependent FTIR spectroscopy of anisotropic thin films and small samples: First measurements in the mid infrared at the IRIS beamline*, BESSY Annual Report 2002 (2003).
27. Paßmann R.; Gensch M.; Hinrichs K.; Korte E.H. and Esser N.: *UHV-Chamber for FT-IR synchrotron ellipsometry on thin organic films*, 8. *European Vacuum Conference*, Berlin, 23.-26.06.2003, Poster.
28. U. Schade  
*Infrarote Synchrotronstrahlung für die Fourier Transform Spektroskopie*  
Invited talk: Scientific Seminar, Geoforschungszentrum Potsdam, 19<sup>th</sup> March 2003.
29. U. Schade  
*Biological Microscopy utilizing Infrared Synchrotron Radiation*  
Symposium, Supramolecular Biostructures: Challenges in Optical Nanoscopy, X-ray Microscopy, and Spectroscopy, Berlin, 27. –28. April, 2003.
30. H.-W. Hübers, M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, P. Kuske, W. B. Peatman, U. Schade, G. Wüstefeld,  
*Brilliant, Coherent THz Synchrotron Radiation at BESSY II*  
Discussion meeting of the Royal Society on: The terahertz gap: the generation of far-infrared radiation and its applications, London, 4.- 5. June, 2003.

31. U. Schade, M. Abo-Bakr, J. Feikes, K. Holldack, H.W. Hübers, P. Kuske, W.B. Peatman, G. Wüstefeld,  
*THz Research at the BESSY Infrared Beamline*  
International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator Based Sources (WIRMS), Lake Tahoe, 8. –11. July, 2003.
32. U. Schade  
*Powerful THz Source at BESSY and it's Application to Spectroscopy and Near-field Microscopy*  
Invited talk: 1<sup>st</sup>. Workshop on Biological Applications of Synchrotron Infrared Spectroscopy in Europe (BASIE), Karlsruhe, 11<sup>th</sup> – 12<sup>th</sup> September 2003.
33. U. Schade, K. Holldack, P. Kuske, G. Wüstefeld ,  
*Spectroscopy and Near-field Microscopy in the THz region at BESSY*. The 11<sup>th</sup> IEEE International Conference on Terahertz Electronics (THz 2003), Sendai, 24. – 26. Sept., 2003.
34. U. Schade, K. Holldack, P. Kuske, G. Wüstefeld ,  
*THz Spectroscopy and THz Near-field Microscopy utilizing Coherent Synchrotron Radiation*, International Conference on Low Energy Electrodynamics in Solids (LEES) 2004, Kloster Banz, July 18 – 23, 2004.
35. U. Schade, K. Holldack, G. Staats  
*THz Scanning Near-field Microspectroscopy Employing Synchrotron*, Joint 29th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 12th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW2004/THz2004), Karlsruhe, September 27 - October 1, 2004.

## Reports

1. U. Schade, F. Bartl, K.P. Hofmann, G. Illing, E.H. Korte, W.B. Peatman, and A. Röseler  
*IRIS: An Infrared Beamline at BESSY II*,  
BESSY Annual Report 1998, 457-459 (1999).
2. F. Bartl, U. Schade, K.P. Hofmann, G. Illing, E.H. Korte, A. Röseler, T. Noll, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*IRIS: An Infrared Beamline at BESSY II – Investigation of Biological Systems Using Infrared Synchrotron Radiation* ,  
BESSY Annual Report 1999, 471-472 (2000).
3. U. Schade, A. Röseler, E.H. Korte, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*Infrared edge Radiation from BESSY II*.  
BESSY Annual Report 1999, 506-508 (2000).
4. U. Schade, M. Scheer, and W.B. Peatman  
*Entscheidungsgrundlage für die Gestaltung des IR-Auslaßsystems an BESSY II*,  
BESSY Technical Report Nr. 220/00 (2000).

5. W.B. Peatman, and U. Schade  
*The Optical Design of the Infrared Beamline at BESSY*,  
BESSY Annual Report 2000, 344-346 (2001).
6. K. Hinrichs, E.H. Korte, A. Röseler, N. Esser, and U. Schade  
*IR-Ellipsometry with synchrotron radiation at BESSY II*,  
BESSY Annual Report 2000, 353-354 (2001).
7. M. Gensch, K. Hinrichs, E.H. Korte, U. Schade, N. Esser, and, A. Röseler  
*Instrumentation for IR-Ellipsometry at the IRIS beamline*,  
BESSY Annual Report 2001, 334-335 (2002).

*Weitere das Polarisationsgoniometer betreffende Referenzen und Konferenzbeiträge*

1. Gensch M.; Hinrichs K.; Korte E.H.; Schade U.; Esser N.; Röseler A.:  
*Instrumentation for IR-Ellipsometry at the IRIS-beamline*, BESSY, Annual Report  
2001, 334-335
2. Hinrichs K.; Gensch M.; Schade U.; Esser N.; Röseler A. und Korte E.H.: *Infrarot-  
Ellipsometrie zur in-situ Charakterisierung: Instrumentierung am IRIS-Strahlrohr bei  
BESSY II*, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, 11.-15.03.2002, Poster.
3. Gensch M.; Hinrichs K.; Korte E.H.; Schade U.; Peatman W.B.; Esser N.; Hofmann  
K.P.; *Synchrotron Radiation for Infrared Micro-Spectroscopy*, Workshop on  
„Application of Synchrotron Radiation in Chemistry“, Hamburg, 2002, Poster.
4. Gensch M.; Hinrichs K.; Schade U.; Esser N.; Korte E.H.; Röseler A.; *Infrared  
ellipsometry for in-situ characterization of thin layers: instrumentation for the IRIS  
beamline at BESSY II*, Euroanalysis 12, Dortmund Sept. 2002, Vortrag.
5. Gensch M.; Hinrichs K.; Schade U.; Esser N.; Röseler A.; Korte E.H.; FT-IR  
*Synchrotron Ellipsometrie für die Untersuchung kleiner anisotroper Proben; DPG  
Frühjahrstagung, Arbeitskreis Oberflächenphysik*, Dresden, März 2003, Poster.
6. Hinrichs K.; Gensch M.; Korte E.H.; Röseler A., Schade U.; Esser N.: *Polarisation  
dependent mid-infrared Spectroscopy*, IR-Workshop bei BESSY, 18./19.11. 2002 in  
Berlin, Vortrag.
7. Gensch M.; Hinrichs K.; Röseler A.; Korte E.H.; Sahre K.; Eichhorn K.J.; Esser N.;  
Schade U.; *Polarization dependent FTIR spectroscopy of anisotropic thin films and  
small samples: First measurements in the mid infrared at the IRIS beamline*, BESSY  
Annual Report 2002 (2003).