

# Von Holographie zur Rekonstruktion: ganz invers gesehen



Weinberg (MPI-Halle)

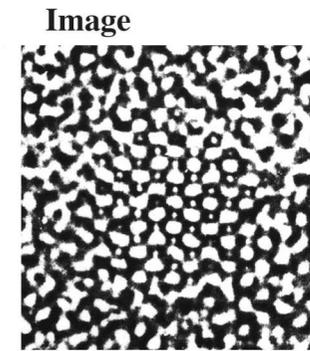
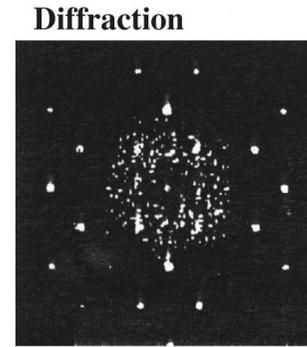
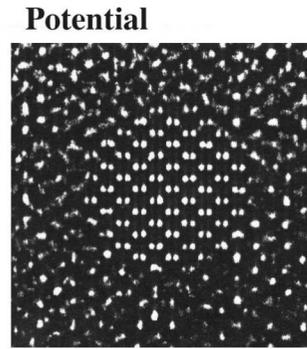
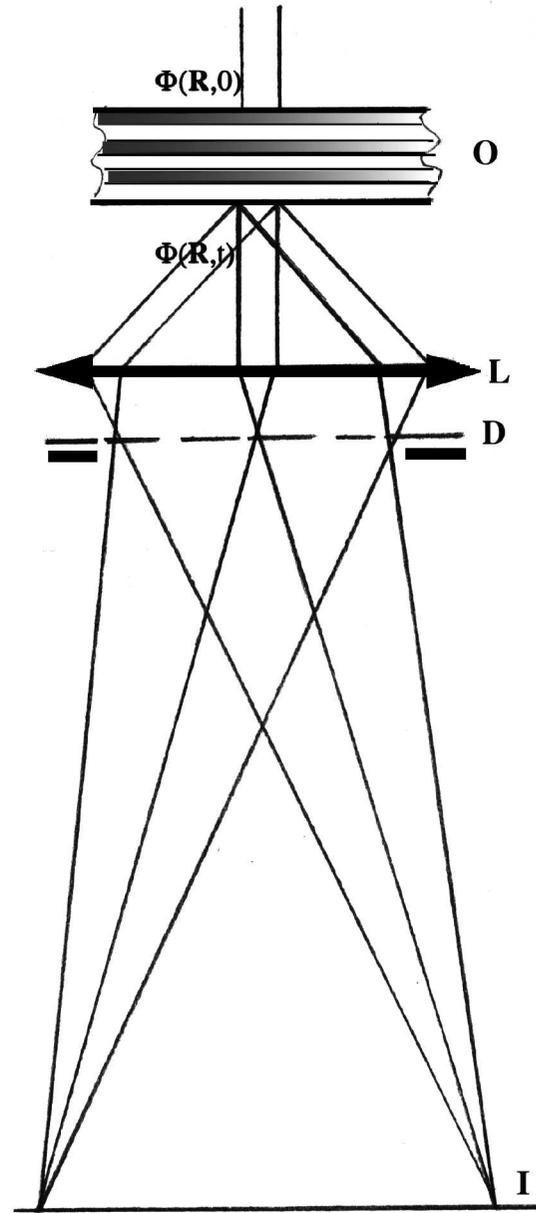
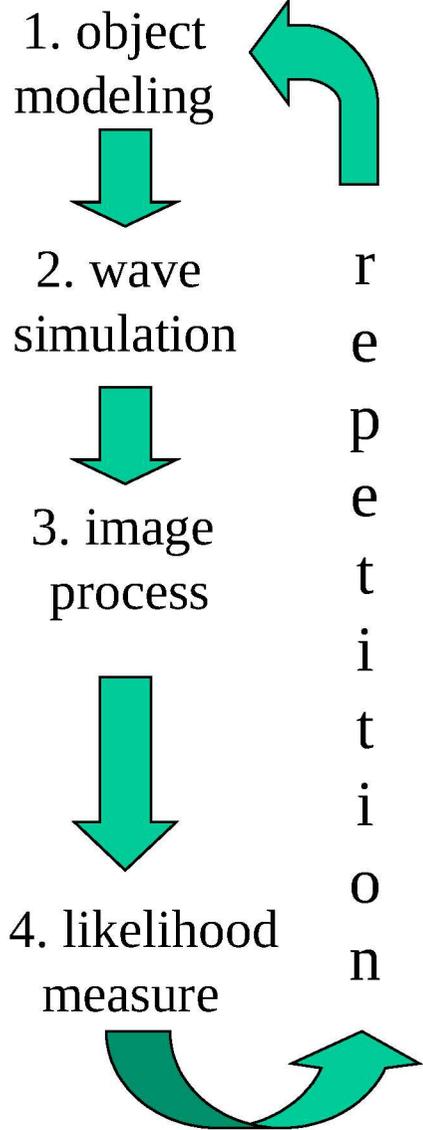


Triebenberg



Ruhestand?  
Triebenberglabor?  
Traum:  
Objektrekonstruktion?

# trial-and-error image analysis



direct object  
reconstruction

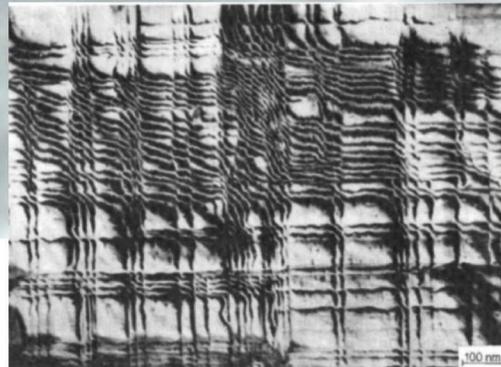
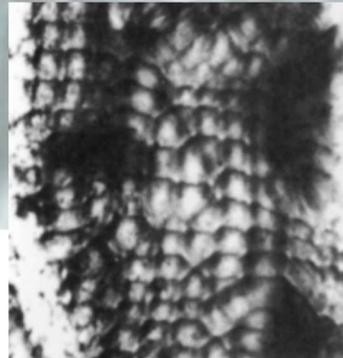
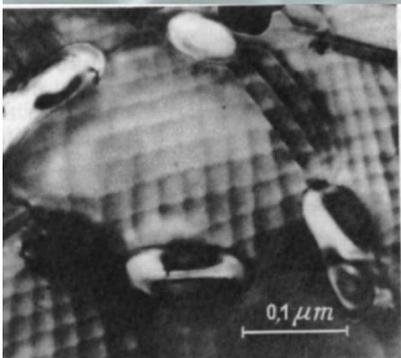
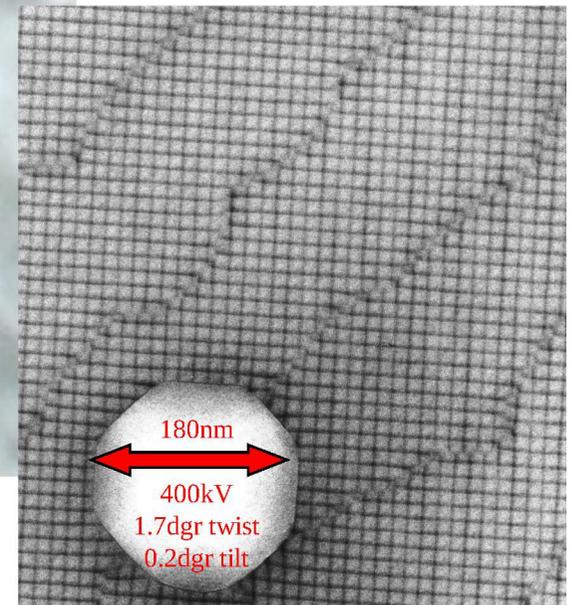
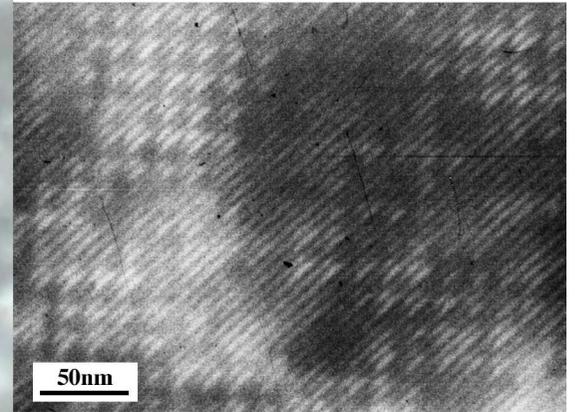
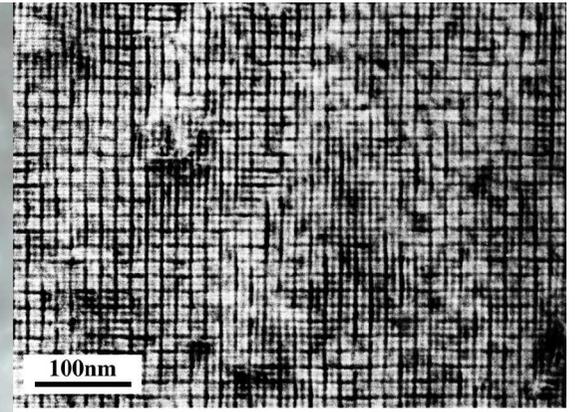
parameter &  
potential  
reconstruction



wave  
reconstruction



image



Inverses Problem:

Rückblick ?

Rekonstruktion ?



Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina  
 Nationale Akademie der Wissenschaften

1987

Carus-Medaille

12. Цвелюк Р. А. Термодинамика твердого состояния. М.: Металлургия, 1963. 313.  
 13. Williams F. L., Nason D. Binary alloy surface compositions from bulk alloy thermodynamic data. — Surface Sci., 1974, 45, 2, 377—408.

Институт металлофизики АН УССР,  
 г. Киев

УДК 537.533.35

К. Шеершмидт, С.

**ПРОЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ  
 В КАРТИНЕ ЭЛЕКТРОННОЙ**

В

Теоретическим фундаментом роскопии, в которой используется Френеля [1], служит выведенный Френелем [2]. Этот подход F моделью двух виртуальных из и Q<sub>2</sub>, связанных с двумя непро- тиположной ориентации, перек Такая система дает интерферен- бипризм, которые будут эквив- том случае, если можно пренебре- рачных полуплоскостей.

Введение тонкого объекта в к дополнительному сдвигу фаз (ф), геометрии объекта. Эти с профили потенциал и размера ных полей исследова потенциал интерферен- стоящей р тать деф обусловлеи возможность распредел

Рис. 1. Схема эксперимента.

Основное уравнение интерферограмме ось ξ вдоль си ных полос вне объекта и ось η по полосам Δy определяется геом ускоряющим напряжением [2]. ( зованные при η<sub>0</sub>, возникают при ной 2πm (m — целое число). Ес положение полосы η<sub>m</sub> и дополнии связаны соотношением [5]

$$\frac{\eta_m - \eta_{m0}}{\Delta\eta}$$

**Проявление дефектов кристаллической решетки**

Если учесть, что  $V(r) \ll V_0$ , и не делать различия интегрирования  $Q_1P$  и  $Q_2P$  (рис. 1), то [9]

$$\Delta\Phi = \frac{\pi}{\lambda V_0} \int_{Q_2P} V(r) ds,$$

где λ — длина волны электронов с энергией eV<sub>0</sub>, V(r) — мушающего действия поля объекта. Дефекты решетки

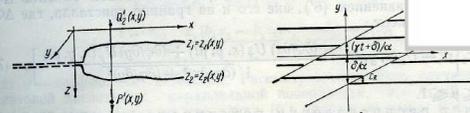


Рис. 2. Геометрия объекта.

Рис. 3. Интерферограмма решетки с дефектом упаковки в ограниченной плоскопараллельной кристаллической пластине.

в потенциал решетки так же, как и в динамической теории дифр- онного контраста [10].

Модель дефекта. Предполагая, что деформация реи из-за дефектов является пренебреж- ной и что изменением лока. атомной структуры можно пренебречь, используем так назыв: приближение деформированных ионов для потенциала

$$V(r) = V^0(r - U(r)).$$

Полагая, что смещения U(r), вычисленные в рамках теори нейной упругости, являются малыми возмущениями, разложим жение (3) в ряд

$$V(r) = V^0(r) - \text{grad } V^0(r) U(r).$$

Для упрощения вычислений потенциал невозмущенной реи V<sup>0</sup>(r) можно заменить ступенчатой функцией. Пусть поверхность талла (рис. 2) разделена на верхний и нижний участки, описыв: соответственно z<sub>1</sub> = z<sub>1</sub>(x, y) и z<sub>2</sub> = z<sub>2</sub>(x, y), и объект пронизыв лучком, параллельным оси z. Тогда, используя ступенчатую фуи Хевисайда

$$\theta(z) = \begin{cases} 0 & \text{при } z < 0, \\ 1 & \text{при } z \geq 0, \end{cases}$$

можно записать

$$V^0(\vec{r}) = V_0 \theta(z - z_1(x, y)) [1 - \theta(z - z_2(x, y))].$$

Из уравнений (2), (4) и (5) можно получить выражение дл ности фаз как функции координат объекта:

$$\Delta\Phi = c_0 [z_2(x, y) - z_1(x, y) + n_2 U(x, y, z_2(x, y)) - n_1 U(x, y, z_1(x, y))]$$

где c<sub>0</sub> = πV<sub>0</sub>/λV<sub>0</sub>, n<sub>1,2</sub> = (-∂z<sub>1,2</sub>/∂x - ∂z<sub>1,2</sub>/∂y)/√[1 + (∂z<sub>1,2</sub>/∂x)<sup>2</sup> + (∂z<sub>1,2</sub>/∂y)<sup>2</sup>] — нормальные единичные векторы.

Учет геометрии поверхности. Для тонкой фольги ной t (z<sub>1</sub>(x, y) = 0 и z<sub>2</sub>(x, y) = t) выражение (6) упрощается:

$$\Delta\Phi = c_0 [t + U_z(x, y, t) - U_z(x, y, 0)].$$

Здесь U<sub>z</sub> — z-компонента поля смещения U(x, y, z). В случае о произвольной конфигурации вводится функция φ(x, y), с помощ



**Ultramicroscopy.....**

**INFLUENCE  
 (On the visibility) of crystal lattice defects  
 in electron interference microscopy**

K. Scheerschmidt<sup>1)</sup>, S. A. Nepijko<sup>2)</sup>, S. Carl<sup>1)</sup>, ...

Institut of Solid State Physics and Electron Microscopy of the Academy of Science of the GDR, Halle (Saale)<sup>1)</sup> and Institut of Physics, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev<sup>2)</sup>

**Abstract**

The influence of crystal lattice defects on the electron interference fringes produced by an electric biprism in the interference microscope is investigated theoretically and experimentally. The interference lines of a biprism, which are approximately equidistant and parallel, are shifted due to the mean inner potential of a crystal lattice, while the lattice defects give small deformations of the interference lines in addition to the shift. These deformations depend on the model of the crystal defect and on the correlation between the defect and the mean inner potential assumed in the calculation. First experiments on Bi spheres show a qualitative agreement to

*Ergänzung zum Russische  
 Nachrichten von Leipzig und  
 im Ukrain. H. Phys. 27 (1982):  
 veröffentlicht, allerdings ist  
 Druck von uns gebilligt.*

УКРАИНСКОЕ  
 ФИЗИЧЕСКОЕ  
 ЖУРНАЛ

Том 2  
 № 5

ОТДЕЛЬНЫЙ

# Körper-Stiftung Nov. 1988

Weitere Auflagen v

- Der Reisende tri 23/82 über "Gru weilanden Bürger kundige Belehrur Für Delegations DDR gelten die e
- Während des Auf tionsleiter unte
- Bei allen Gesprä ß die Vorschr Forschung (einsc und vertrauliche internet. Zusam geheime vom verbindliche Abs gestattet, und 2 weitere Besuche
- Beim Aufrechen die Pflicht, sic Land zu melden.
- Der Reisende hat mitteln spezam sowie die Zelliv
- Bei Tagungsbesu nach der Reise l Erfassung zu übe

Berichterstattung

Besondere Vorkomm Institutsdirektor Die Berichterstat 1/21/82. In Reisebericht s: Direktive auszuwe: zeitlen Erkenntnis: Bei Tagungsreisen zunehmer. Der Re:gericht: über dem:auslands Für Teilberichte: Alle Exempla: Der Reisepaß ist e in der:annahme: Kenntnis genommen

Halle,

Teil I: Zusammenfass

Der Reiseplanung lag Physik der Universit grundete. Ziel des 144 tensive Erfahrungsauf arbeitgruppen für Elek Dr. H. (lichte) und di mann, Prof. Dr. F. Le liefen problemlos, di inhaltlich erfüllt we übernahme von Reise- infolge der Finanzio Bildverarbeitung dür 1988 an Prof. Hermann konnten die v:ision gebestete Sicherheit: 217.- konnten dem Vorgegeben durch: Grenzen der Elektron gleich zur Hochauflö war der Reise die telbar in den Labors wandte Physik auf da Zeitmangel war trotz ser Besuch in der Mi (Dr. K.-H. Katerbau) Infolge des ungehind men der Wissenschaft Vervielfältigung: (Mathematik, Theoret Ausstattung des Inst der Geräte und Hilfs möglich. Die Arbeit: fühlen sich durch di und setzen alles da: lichkeiten und bei:

bis zu 10 - 12 Stunden s Rolle auf diesem Gebiet  
Trotz der sehr effektive in Übungen durchgeführt Vorversuchen gesehen wer ten. Dies betrifft sowoh Präparaten des IFS Halle Rekonstruktionsversuche als auch die theoretisch und mit der EMS-software -ugeführt wird. Obwohl charakter hatten, ist da graphie in Verbindung mi konstruktion derzeit ein mäßigen Einsatz möglic: tionellen Hochauflösungs daß sich alle bildungs: nieren lassen. Die gerät dieser Methode sind nich len HRE - der Kabinu de Abbildungsbedingungen - tronenstrahlung ist di dings unumgänglich. Prob: (struktion sein, für die: freie Zugriff zu umfang ren. Um zumindest auf bis sehr aktuell: dem VIELW ist: nötig, die Arbeit: so bald als möglich einen Dr. (lichte) könnte die im theoretischen: auf den Gebieten Proben: pretation zu nutzen, was an der schnellen Entwickl in Übungen partizipiere: möglich entschieden werde: sukzessive genutzt werden

Neben dem fachlichen Erke besonderer Bedeutung gewe Aufwand in der Gruppe Ele durch die Körperstiftung eingesetzt werden, indem selbständig z. B. die Ger eine Rechnungslegung: Die im: erive und enge Zu: stitut für Angeordnete Phy von privaten Einladungen: letzten Diskussionen wur als Dings der DDR behand tive formulierten: Diskussionen ergaben sich lichen Arbeitsmarkt und d: Karden die psychologische tiv beurteilt, so wird al anome Leistungsfähigkeit dere auf dem Service- und von Reisenden vertreten: schäfts- und Sozialpolit: len einfach stehengelasse: nerkhalb der doch recht h: staunlich gewesen und die beobachtete hohe Kreativ: Einhellige Betroffenheit: wältigung: der: und: land: die, wie sich anhand der: (Mikro)retanen Bundestags: Kommissar: blassen läßt. Eine recht positive: schlusses des Wissenschaft konnte man spüren, daß ei Leistungsbereitschaft der: setzung zum Gelingen, der warum z. B. die Veröffent: über selten zitiert werde

tige Präsenz einiger wichtiger Gruppen auf internationalen Konferenzen etc. beantwortet, die zur Ignoranz aller weniger aufälligen Aktivitäten führt.

Teil II: Ausführliche fachliche Darstellung der gewonnenen wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse und Informationen

Bereitwillig wurde Einsicht in die derzeitigen Projekte gegeben und im folgenden werden jene Aspekte dieser Arbeiten ausführlicher analysiert, die unmittelbar die Forschungsvorhaben des IFS Halle tangieren. Für die meisten dieser Projekte wurden erste Informationen in acht Posterbeiträgen des 9. Europäischen Kongresses für Elektronenmikroskopie (York, England, 4. - 9.9.1988, siehe EURM 88, Inst. Phys. Conf. Ser. 22, 1988) gegeben.

Im Mittelpunkt des Interesses steht derzeit die Weiterentwicklung und Anwendung der hochauflösenden Elektronenmikrographie (Herr Völk). Für die experimentelle Realisierung wird das Philips EM 420 S2 mit Feldemissionskatode (Nichtstrahlwert  $10^3 \text{ A/cm}^2$ ) verwendet, in dessen Halter für die Gesichtsfeldblenden ein Biprismafaden (Durchmesser 390 nm) eingebaut ist, an den eine Spannung bis 300 V zur Strehlteilung angelegt werden kann. Mit Hilfe des Kondensortrigators wird die Elektronenquelle nach ihrer Justierung bezüglich Lage und Größe in eine Ellipse verformt, um Kontrast und Intensität im Hologramm zu optimieren. Senkrecht zum Biprismafaden wird die Quelle verkleinert und damit die laterale Kohärenz erhöht; diese Optimierung wird mit einer Fernseh-Bildverstärkeranlage überwacht. Die Lage der Zwischenbildebene muß abweichend vom üblichen Strahlengang so gewählt werden, daß durch den erregten Biprismafaden eine Überlagerung der beiden Teilwellen möglich wird. Dies erfordert eine unübliche Krümmung aller Linsen und wird über einen Kleinrechner gesteuert. Die Krümmungsspannung des Biprismafadens bestimmt dann den objektbezogenen Streifenabstand, die Lage der Zwischenbildebene die erreichbare Überlagerungsbreite der Hologrammstreifen. Mit diesem unüblichen Abbildungsmodus sind derzeit Objektvergrößerungen bis  $9,3 \cdot 10^2$  fach gegenüber üblichen Vergrößerungen bis  $1,2 \cdot 10^6$  fach möglich. Dabei ist unter günstigen Arbeitsbedingungen ein minimaler Abstand der Interferenzstreifen



Herrn Dr. H. L.  
Institut für  
der Universi  
Auf der Morg  
7400 Tübinge

Lieber  
anbei senden  
Zählkarte un  
mit dessen H  
Grenze un  
Der Pflic  
können wi  
gehend be

VW-St

Die V  
Sofortpr  
Infrastr  
Technis  
einrichte  
rium au  
Erwartu  
günstige  
Wie a  
weiter h  
nächst z  
fügung

Gemeinsame Physikalische Kolloquium

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Physik,  
und der Akademie der Wissenschaften, Institut für Festkörperphysik  
und Elektronenmikroskopie Halle,

am Mittwoch, dem 5. 4. 1989, 16 Uhr a. t.,

in großen Hörsaal der Sektion Physik der Martin-Luther-Universität  
Halle (Saale)

Es spricht Herr Dr. H. Lichte, Universität Tübingen,  
zum Thema: "Elektronen-Holographie"



Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Festkörperphysik  
und Elektronenmikroskopie  
Prof. Dr. V. Schmidt

HALLE, DDR - 4010  
Postfach 250

1. Februar 1990

Herrn  
Prof. Dr. K.-H. Herrmann  
Prof. Dr. H. Lichte  
Institut für Angewandte Physik  
der Universität Tübingen  
Auf der Morgenstelle 12  
D-7400 Tübingen

Sehr geehrter Herr Professor Herrmann,  
sehr geehrter Herr Doktor Lichte!

*geändert!*

Mein Mitarbeiter, Herr Dr. Kurt Scheerschmidt, erhält hiermit die  
Vollmacht, im Auftrag des IFE Halle der AdW der DDR eigenverant-  
wortlich den gemeinsam mit dem Institut für Angewandte Physik der  
Universität Tübingen an die VW-Stiftung zu stellenden Antrag zum  
Förderungsprojekt "Untersuchung der neuen Möglichkeiten zur  
Charakterisierung der Mikrostruktur von Festkörpern mittels der  
hochauflösenden Elektronen holographie" auszuarbeiten und zu  
unterzeichnen.

Das Projekt wurde vom Präsidium der AdW der DDR befürwortet und  
entspricht in der geplanten Form den Interessen des IFE Halle -  
Herr Dr. K. Scheerschmidt wurde als Koordinator bestellt.

Hochachtungsvoll

Prof. Dr. V. Schmidt  
Institutsdirektor

IV/1022 14.0 0107/283 199

Telefon: Halle 60 19 12      Telex: ADW810 04 263      Telegramm: ADWEIMI Halle  
Sitz: Weinberg 2, Halle (Saale), DDR - 4050      Bankkonto: SIB Halle 3781-27-120033      Betriebsnummer: 0262 93 3

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Fachbereich Physik.

Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle



Physikalisches Kolloquium

Universität Tübingen  
Institut für Angewandte Physik

7400 Tübingen 1, den  
Auf der Morgenstelle 12      29. Juli 1990  
Telefon (07071) 2924 28

Inst. f. Angewandte Physik, Auf der Morgenstelle 12, 74 Tübingen 1

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie  
Herrn Dr. Kurt Scheerschmidt  
Weinberg 2  
DDR - 4050 Halle

Lieber Herr Scheerschmidt,

dies ist meine Antwort an die Gutachter. Wie Sie sehen, habe ich da-  
rauf verzichtet, auf die differentielle Defokus-Methode, selektive  
Fourieranalyse und alternative Methoden der Phasenanalyse einzugehen,  
weil ich dazu zu wenig weiß. Meine Versuche, mit Ihnen vor Ihrem Ur-  
laub und danach mit Dr. Hillebrand Kontakt aufzunehmen, ist an dem ewi-  
gen "Tüt-Tüt...." gescheitert. Die Bemerkung von Dr. Hillebrand, die  
Phasendarstellung sei schon erreicht, habe ich mir verkniffen: Sie ist  
richtig, aber wir sollten uns derartiges für den ersten Zwischenber-  
richt aufheben.

Nun hoffe ich, daß die Herren Gutachter von der Wichtigkeit unseres  
Vorhabens ebenso überzeugt sind wie wir. Wegen der Recherausstattung  
gibt es ja nun keine Probleme mehr wegen COCOM. Deshalb bitte ich Sie  
Alternativen zur Microvax II zu überlegen. Wir sind mit unserer Vax-  
station 3100 äußerst zufrieden, sie rechnet dreimal schneller und nach  
Aussagen von Herrn Daberkow lassen sich mehrere davon miteinander gut  
verclustern. Drei Stück mit je einer großen Festplatte und einem  
Streamer wäre wahrscheinlich schon eine gute Grundaussattung. Mit  
Herrn Steinhardt habe ich Ähnliches schon am Telefon überlegt, ver-  
mutlich würde VW solchen Änderungen gegenüber dem Antrag gerne zustim-  
men, weil auch Geld zu sparen ist.

Vermutlich sind Sie braun gebrannt und voller Aktivität aus dem Urlaub  
zurück und warten nur noch auf den Startschuß aus Hannover. Es wäre  
sinnvoll, wenn wir zum 1. Oktober anfangen könnten.

Grüßen Sie die Hallenser Kollegen und Ihre Familie

Ihr

*Hans Lichte*

phys. stat. sol. (a) 91, 465 (1985)
Subject classification: 1.1; 1.4; 10

Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie
der Akademie der Wissenschaften der DDR, Halle (Saale)<sup>1)</sup>

Calculated Defocus Diffraction Contrast
and Lattice Fringe Imaging of Small Crystal Defects

By
K. SCHEERSCHMIDT and R. HILLEBRAND

Dedicated to Prof. Dr. Dr. h. c. Dr. E. h. P. Göblich on the occasion of his 80th birthday,
also in the name of Prof. H. Bethge

In transmission electron microscopy of a few nanometres requires the consideration of the interaction between electron waves and crystal defects. Simulated images present the significance of microscope aberration fringe images.

Die Erfassung von Kontrastdetails kleiner Dimensionen im Transmissionselektronenmikroskop erfordert die Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Elektronenwellen und Kristalldefekten. Simulierte Abbildungen verdeutlichen die Bedeutung von Mikroskopaberrationsfringebildern.

1. Introduction

In transmission electron microscopy, details smaller than about 10 nm are not resolved. The microscope aberrations in the image cause a blurring of the contrast and create a blurring of the image.

If, however, the above technique is used, details smaller than about 10 nm can be resolved. The microscope aberrations in the image cause a blurring of the contrast and create a blurring of the image. So, for instance, out-of-focus diffraction contrast can be observed. On the other hand, the interstitial or vacancy nature of the defect images and lattice fringe images can be analysed by the well-established method of phase contrast.

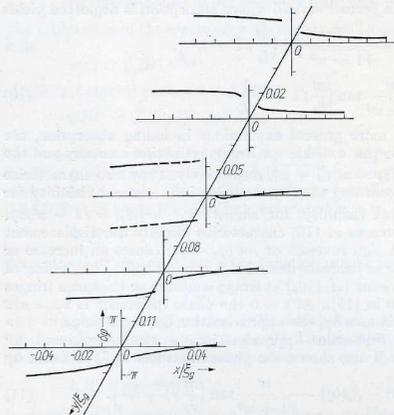


Fig. 1. Set of diagrams showing phase differences delta phi = phi\_g - phi\_0 as a function of column position x/Lambda\_g for an inclined screw dislocation. Parameters: g = (111), b = 1/3[011], e = [110], t = xi\_g/4 (xi\_g of Ge); the dashed curves indicate the phase ambiguity of 2pi characterizing a terminated fringe at y = 0.06

function in the back focus

psi\_a(q) = F[psi\_0(R)]

The frequency spectrum psi\_a(q) of the crystal. It shows a fine structure due to the variation in Phi\_g(R) due to the presence of the defect. psi\_a(q) is multiplied by a factor due to the microscope aberrations. The resulting spread of defocus amplitudes psi\_a(q) provides the intensity distribution in reciprocal space.

psi\_a(q) = psi\_a(q) A(q)

where E represents the partial wave function. The resulting spread of defocus amplitudes psi\_a(q) provides the intensity distribution in reciprocal space.

psi\_0(R) = F^-1[psi\_a(q)]

The intensity distribution in the image plane is then calculated by the Fourier transformation procedure. The resulting image is then compared with the experimental image. The intensity distribution in the image plane is then calculated by the Fourier transformation procedure. The resulting image is then compared with the experimental image.

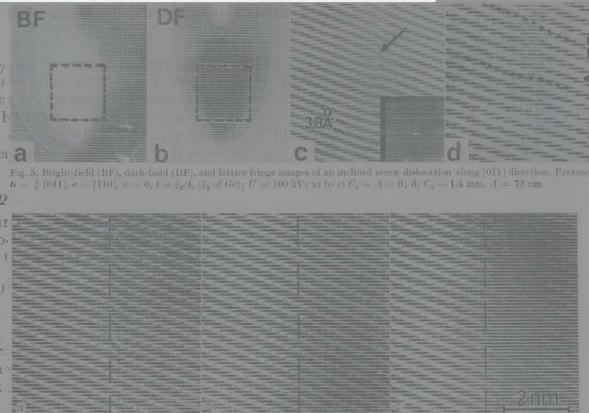


Fig. 5. Bright-field (BF), dark-field (DF), and lattice fringe images of an inclined screw dislocation along [011] direction. Parameters: U = 100 kV, t = 3/4 lambda\_g, xi\_g of Ge; U = 100 kV; a) C\_1 = 1 - 0; b) C\_1 = 1.4 nm, lambda = 75 nm

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie
401 HALLE (SAALE), WEINBERG

<sup>1)</sup> Weinberg 2, DDR-4010 Halle (Saale)
30 physica (a) 91/2

826

Dot. Nr.: Bol. 1/85

DEMONSTRATION OF THE PHASE DISTRIBUTION IN AN ELECTRON WAVE
DIFFRACTED BY A MONOCRYSTAL

G. MÖLLENSTEDT, H. STUMPP and H. LICHTER

Institute of Applied Physics, University of Tübingen, D-7400 Tübingen, Fed. Rep. of Germany

Received 18 June 1984

Dedicated to Professor Heinz Bethge on the occasion of his 65th birthday

described by psi(k, r) = exp(i\*k\*r) then the diffracted waves psi\_g(k, r) in the vacuum behind a crystal slab of thickness t can be written as

psi\_g(k, r) = phi\_g(k, t) exp[i(k+g)\*r]. (1)

We shall call psi\_0(k, r), i.e. the wave having the same wave vector as the incoming one, the "primary wave", and all other psi\_g with g != 0 as "reflexes". For the complex amplitudes phi\_g(k, t) one obtains from the dynamical theory (cf. Metherell [5])

phi\_g(k, t) = sum\_j alpha\_j C\_g^(j) exp[ik\_x^(j)t] exp(-q^(j)t). (2)

This expression describes the interference between the Bloch waves characterized by the index j which propagate within the crystal with different wave vectors k^(j) and which are damped in a way described by the Bloch wave absorption coefficients q^(j). The alpha\_j are called the Bloch wave excitation coefficients, whereas the C\_g^(j) are the Bloch wave coefficients.

In the high-energy approximation for the symmetrical Laue case, the coefficients k\_x^(j), q^(j) and C\_g^(j) can be determined as eigenvalues and eigenvector components, respectively, for a matrix the structure

M\_g = [k\_x^2 - k^2 - U, C\_g^1 C\_g^2, ..., C\_g^1 C\_g^N; C\_g^2 C\_g^1, k\_x^2 - k^2 - U, ..., C\_g^2 C\_g^N; ...; C\_g^N C\_g^1, ..., C\_g^N C\_g^N] (3)

The complex amplitude phi\_g(k, t) in eq. (1) contains information on the amplitude and phase of the wave function psi\_g(r) describing the gth reflex:

phi\_g(k, t) = |phi\_g(k, t)| exp(i\*Delta\*phi\_g), (4)

where

Delta\*phi\_g = arg phi\_g(k, t) = arctan(Im phi\_g(k, t) / Re phi\_g(k, t)). (5)

will be called the "phase shift of the reflex g".

In order to describe the orientation of the wave vector k of the incident wave relative to the reciprocal wave vector g defining one reflex under consideration, it is convenient to use the dimensionless scalar parameter

k\_x/|g| = (k\*g)/(g\*g).

Bragg's condition is exactly satisfied if this parameter equals -0.5.

Fig. 1 shows the dependence of the phase shift Delta\*phi\_0 in the primary wave on k\_x/|g| for muscovite calculated in two-beam approximation for 100 keV electrons and different values of the crystal thickness slightly above and below a value equal to 5/2 times the extinction length. Fig. 1 demonstrates the strong sensitivity of the phase shift to small thickness variations if the crystal thickness is close to an odd multiple of half the extinction length.

Fig. 2 shows calculated values of Delta\*phi\_0, again for muscovite and 100 keV in two-beam approximation. In the left-hand diagram, absorption is neglected. On the right hand, anomalous absorption is taken into account.

The phase of Schrödinger's wave function is not an observable quantity but recent electron interferometric and electron-holographic experiments have confirmed that phase differences between two coherent partial waves can be measured. Explicit measurements of phase differences due to diffraction by a monocrystal have been made by Hanszen et al. [8]. Using electron-holographic methods they studied the phase jumps in the primary wave observable at the extinction contours in the electronmicroscopical image of a wedge-shaped crystal, and they compared them to

experimentally checked and confirmed as has not been much experimental work on biprisms. First experiments show strong contrast of monocrystals. Dynamical calculations of muscovite. This dependence can be determined by

of most specific problems re-evaluations.

Bethe's formulation [1] in which the time-independent Schrödinger equation is solved as a superposition of Bloch waves is especially applicable to a physical analysis of the interference phenomena

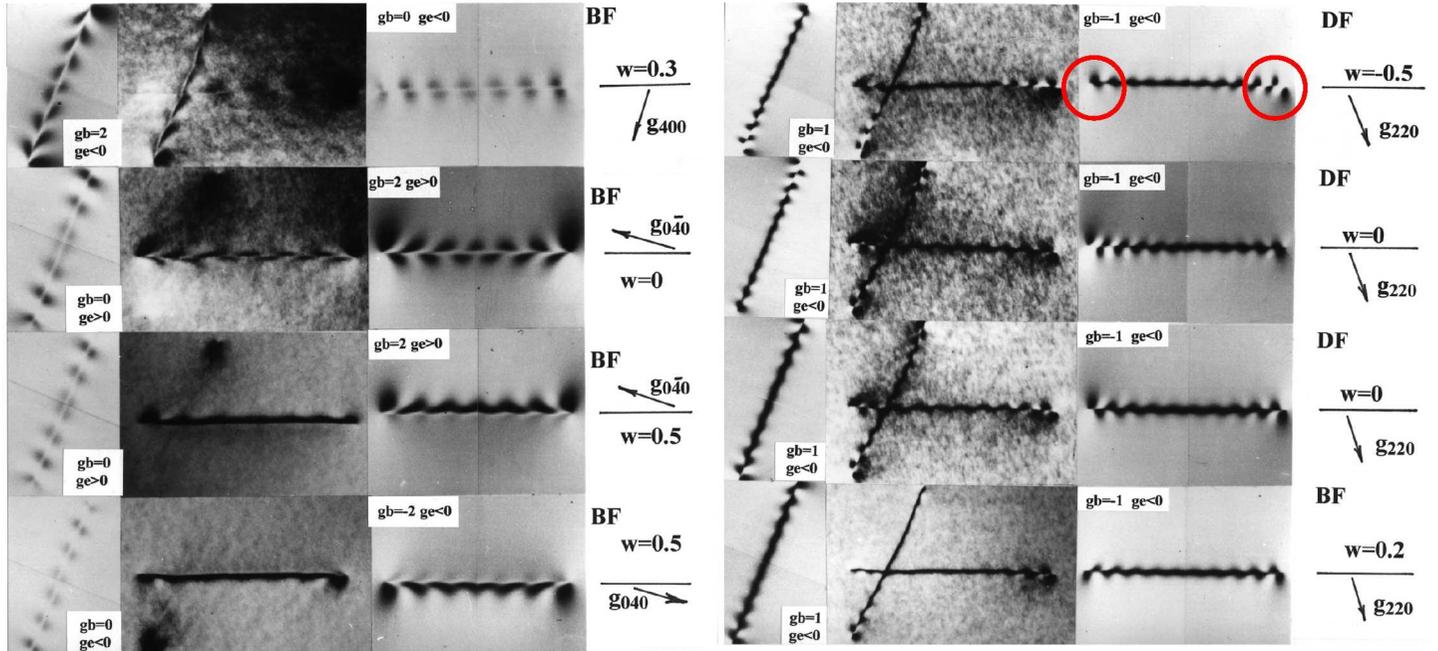
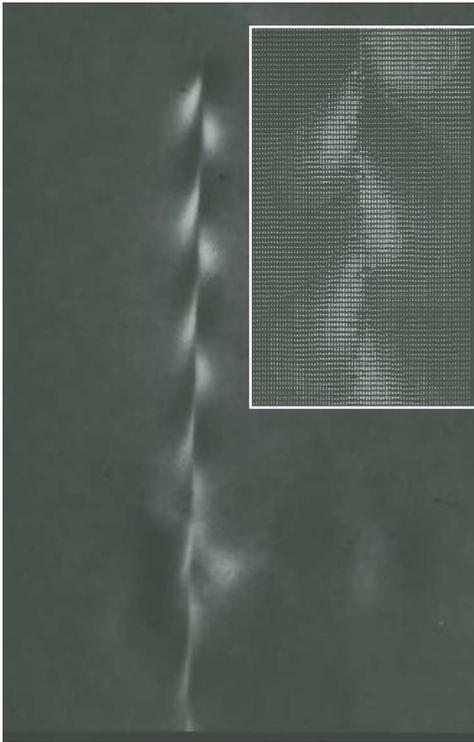
communicate some results of amplitude calculations for the many-beam approximation account anomalous absorption, and to the diffraction of electron crystals limited by plane-wave approximation which we consider as the most important case.

coordinate system is used, the z-direction points into the crystal and is its surface. Each diffracted reflex by its corresponding reciprocal lattice point in the reciprocal lattice. In the symmetrical Laue case, all reflexes are parallel to the crystal surface, i.e. energy approximation implies that from the crystal surface are neglected

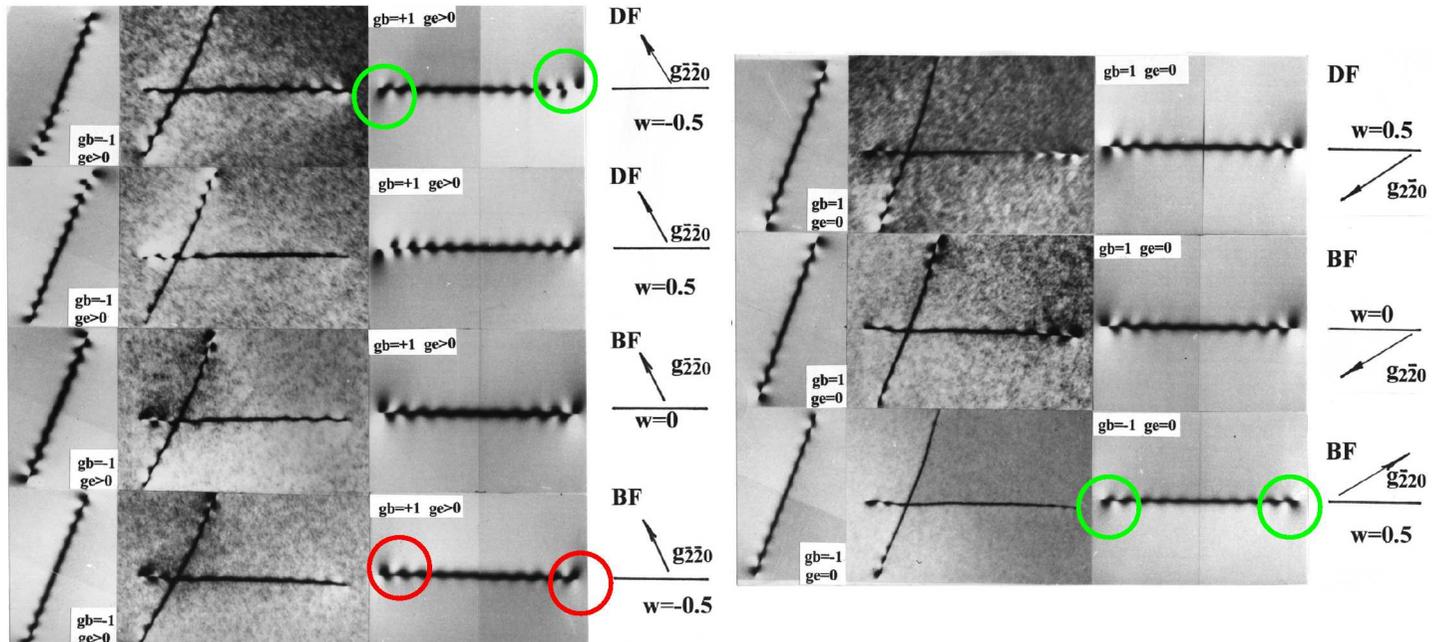
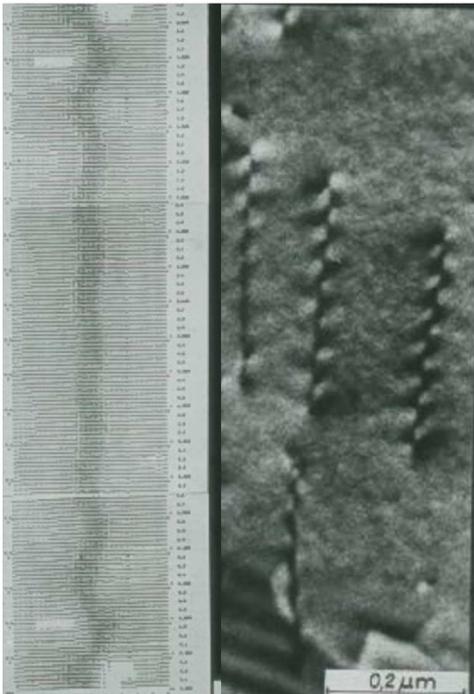
ized incoming plane wave is determined by the extinction length. Fig. 1 demonstrates the strong sensitivity of the phase shift to small thickness variations if the crystal thickness is close to an odd multiple of half the extinction length.

Fig. 2 shows calculated values of Delta\*phi\_0, again for muscovite and 100 keV in two-beam approximation. In the left-hand diagram, absorption is neglected. On the right hand, anomalous absorption is taken into account.

The phase of Schrödinger's wave function is not an observable quantity but recent electron interferometric and electron-holographic experiments have confirmed that phase differences between two coherent partial waves can be measured. Explicit measurements of phase differences due to diffraction by a monocrystal have been made by Hanszen et al. [8]. Using electron-holographic methods they studied the phase jumps in the primary wave observable at the extinction contours in the electronmicroscopical image of a wedge-shaped crystal, and they compared them to



Burgers vector determination in TEM by using the dislocation parity analysis,  
S. Ruvimov, K. Scheerschmidt, pssa 141 (1994) 269



**Abschlussbericht des von der Volkswagen-Stiftung geförderten Projektes:**

**"Untersuchung der neuen Möglichkeiten zur Charakterisierung der Mikrostruktur von Festkörpern mittels der hochauflösenden Elektronen-Holographie" (Förderkennzeichen I/66372)**

Beteiligte Institute:

Institut für Angewandte Physik  
 Universität Tübingen  
 Auf der Morgenstelle 12  
 D 72076 Tübingen  
 (Berichtersteller Prof. H. Lichte)

Max-Planck-Institut für  
 Mikrostrukturphysik  
 Weinberg 2  
 D 06120 Halle / Saale  
 (Berichtersteller Dr. K. Scheerschmidt)

**Übersicht:**

Entsprechend dem Förderantrag sollten die neuen Möglichkeiten der Elektronen holographie zur Verbesserung der mikrostrukturellen Untersuchung von Festkörpern getestet werden. Durch Vergleich von hochauflösender Elektronenmikroskopie (HREM) und Elektronen holographie konnte gezeigt werden, daß die in der Phase der Elektronenwelle enthaltene Information wesentliche zusätzliche Aussagen zu Probenorientierung und -dicke, sowie eine verbesserte

Volkswagen-Stiftung



Telefon Vermittlung (05 11) 83 81-0  
 Telefon Durchwahl (05 11) 83 81- 218  
 Telefax (05 11) 83 81-344

Kastanienallee 35 D-30519 Hannover

18. Januar 1996  
 Az.: I/66 372

---

Volkswagen-Stiftung Postfach 81 05 09 D-30505 Hannover

**Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik**  
 Herrn Dr. K. Scheerschmidt  
 Am Weinberg 2  
 06120 Halle/Saale

Sehr geehrter Herr Dr. Scheerschmidt,

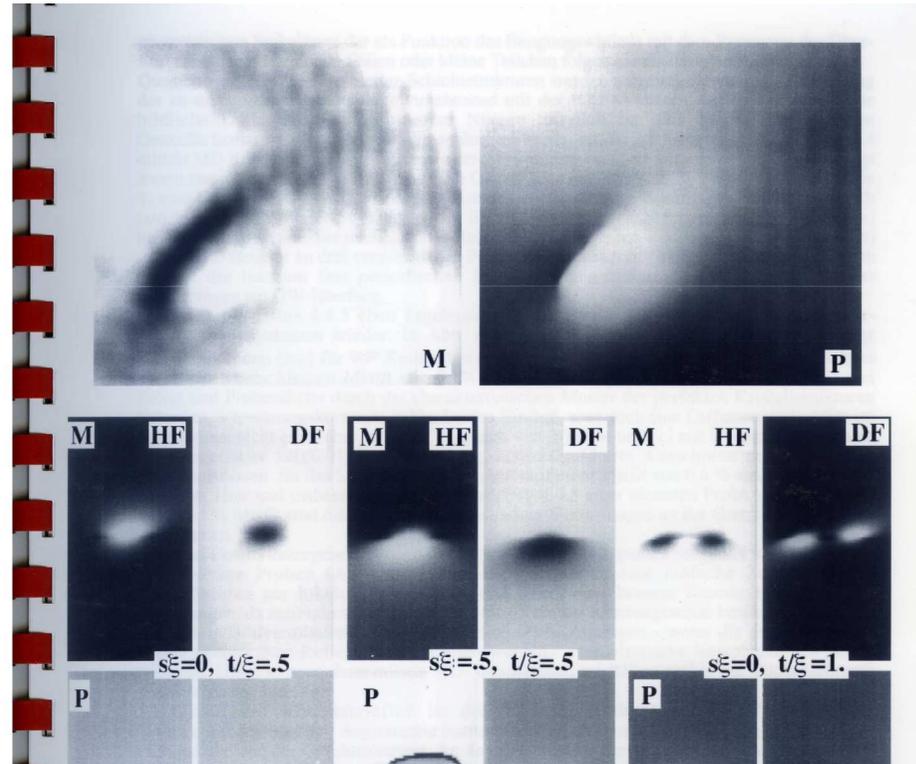
nach Rückkehr vom Symposium in Stuttgart habe ich das mir von Ihnen gegebene Paket ausgepackt und darin den Abschlussbericht zu dem von der Stiftung geförderten Projekt "Untersuchung der neuen Möglichkeiten zur Charakterisierung der Mikrostruktur von Festkörpern mittels der hochauflösenden Elektronen-Holographie" sowie fünf Sonderdrucke von Veröffentlichungen und Proceedings der Herbstschule in Halle vorgefunden. Haben Sie hier noch vielen Dank dafür.

Der Bericht ist wirklich schön. Ich nehme ihn als Vorlage für eine Ergebnismitteilung an das Kuratorium der Stiftung. Bemerkenswert erschien mir auch die Literaturzusammenstellung auf den Seiten 30 bis 36, die einen ungeheuren Fleiß der Projektbeteiligten deutlich macht.

Nochmals vielen Dank!

Mit freundlichen Grüßen

*Herb. Steinhardt*  
 Dr. Herbert Steinhardt



ihres »isotopischen Fingerabdruck« zugeordnet werden. Die »Fingerabdrücke«, die sich bei Neutronenaktivierungsanalyse und Isotopenbestimmung zeigten, geht »Fall« seiner Aufklärung entgegen. Bewusst vor dem Hintergrund der Feststellung über die Herkunft von Töpfern in der Levante, wurde Zypriotische Keramik wurde falls verwendet. Doch wurden nun mehrere Gefäße, die weitaus besser in Qualität von Fayenmann, die keine Importe aus der Levante, sondern gelungene trionische Imitate ent-

von den Tübinger Geochemikern in Herkunftbestimmung eingeführte ihren macht die davor genannten ysen nicht überflüssig; beste Ergebnisse liefert die Kombination aller Methoden. Hilfe für die Arbeit leisteten die Aktivitäten des »Institut für Geochemie, Prof. Satirs meische vielseitige Arbeitsgruppe befaßt beispielsweise auch mit der Grunderklärung durch Deponien (und sogenannten »Altlasten«). Klimatische Änderungen sollen künftig ebenfalls sucht werden. Vielleicht können Forschungen dazu beitragen, daß unserer Kultur einmal mehr übrig als nur ein Häuflein Scherben zweiter Herkunft.

Hömke, Diplomand am Zoologisches Institut

In dieser Ausgabe

ver töpferter Troias Keramik?	1
keramische Funde in Orient	7
neue Ausgrabungen in Syrien	9
die öffentlichen Haushalte im Blickpunkt	10
Therapie als Wissenschaft	12
»Ben liebt Anna«	15
Lehrberufene Professoren	18
Preise und Auszeichnungen	20
Lehrplanmemoriam	22
Lehrbücher Tübinger Autoren	23

## Atome im Kristallgitter scharfstellen

Der »CM 30 FEG Spezial Tübingen« der Angewandten Physik in der Physikalisches Institut, wurde im März 1993 in Betrieb genommen. Das Gerät wurde am 30. Oktober feierlich eingeweiht im Beisein von Prof. Dr. Heinz Maier-Leibnitz, dem ehemaligen Präsidenten der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Mit dem Gerät wurde die erste Abbildung eines Kristallgitters in wohlbehaltenem Zustand (z. B. in Oxiden) sichtbar gemacht. Für das Verständnis des makroskopischen Verhaltens von Materialien wie elektrischer Leitfähigkeit (z. B. bei Halbleitern oder Supraleitern), magnetischen, optischen und mechanischen Eigenschaften sind die Reaktionsbedingungen in der Kristallstruktur von entscheidender Bedeutung. Die atomaren Details von Kristallstrukturen (Korngrößen, Defekte, Kristalleite) in der Regel noch nicht direkt durch Elektronenmikroskop dargestellt werden. Dazu ist eine Steigerung der Bildschärfe von jetzt 0,17 nm auf besser als 0,13 nm notwendig, 0,1 nm sind äußerst wünschenswert. Es ist unmöglich, von einem beispielsweise in einer Kleinbildkamera unscharf aufgenommenen Negativ durch entgegen gesetztes »Unschärfstellen« des Vergrößerungsfähigkeit des Mikroskops zu gewinnen. Die Wellenlänge von Elektronen ist etwa 100.000 mal kleiner als sichtbares Licht, d. h. weit kleiner als atomare Dimensionen. Deshalb sollte ein Elektronenmikroskop eine Verbesserung der Bildschärfe um den Faktor 100.000 ermöglichen lassen, die mit der Auflösungsfähigkeit feinsten atomaren Strukturen erlaubt. (Transmissionselektronenmikroskop erfunden von Ernst Ruska [1932], Nobelpreis 1986) Die Erfindung der Elektronenmikroskopie ist die Lösung der Aufgabe, die Ablenkung steuert die Elektronen aufgetragene Informationen über die Objektstruktur zu übertragen. Die Abbildung der Atome im Kristallgitter ist ein Beispiel für die Abbildung des Elektronenbündels in ein etwa ein millionenfach hochvergrößertes Elektronenbild sichtbar gemacht werden. Dazu werden Elektronenlinsen benötigt. Elektronenlinsen sind in bestimmter Weise geformte elektromagnetische Felder, die die Elektronen auf die gewünschte Weise fokussieren. Die Optimalisierung der Elektronenlinsen ist die theoretisch erreichbare Leistungsgrenze von Elektronenmikroskopen heute praktisch erreicht. Die Grenze liegt bei einer Bildunschärfe von etwa 0,17 nm (1 nm = 10<sup>-9</sup> mm). Das ist im Vergleich zum Lichtmikroskop eine Verbesserung um den Faktor 1400; viel mehr als mit den besten Mitteln der Elektronenmikroskopie möglich. Mit großem Erfolg wird dies in vielen Elektronenmikroskopie-Labors

# Schultern der Riesen auf den wir stehen (z.B. Ruska, Gabor, Möllenstedt, Bethge)

## Glückbemerkt und gefordert zu werden (z.B. DFG, VW- & Körber-Stiftung)

# Ideen, Visionen und Durchsetzungsvermögen (z.B. Biprisma, Feldquelle, numerische Rekonstruktion, Korrektoren)

# Begeisterte Mitstreiter und kritische Begleiter (z.B. Triebenberg, Rose)

Der Bildaufbau des Elektronenmikroskops ist ein Spezial Thema in der Physik. Der Bildaufbau des Elektronenmikroskops ist ein Spezial Thema in der Physik.

herkömmlichen Bild ist jedoch nur die Intensität gespeichert; die Bildphase fehlt, steht also für den Prozeß des »Scharfstellens« nicht zur Verfügung. Der ungarische Physiker Dennis Gabor (Nobelpreis 1926) schlug das Verfahren für Holographie vor. Durch Interferenz der Wellenfronten des Objekts mit einer Referenzwellenfront wird die Hologrammphase gespeichert. Dem Bildintensität und Bildphase gespeichert sind. Deshalb kann ein aus einem Hologramm rekonstruiertes Bild eine Abbildung des Objekts mit der Bildschärfe im Elektronenmikroskop, läßt sich verallgemeinern: Aus einem Hologramm, das im Elektronenmikroskop aufgenommen wurde, lassen sich Bildfehler (z.B. Öffnungsfehler und Defokussierung) nachträglich korrigieren. Die jahrzehntelange Erfahrung des Instituts im angewandten Physik in der Weltweit, die Entwicklung der Holographie mit Möllenstedt und Düker zur Herstellung von Elektroneninterferenzen – erlaubt heute, Elektronenbündel mit hoher Qualität zu erzeugen. Die Entwicklung des Computer ermöglicht es, die durch wellenoptische Bildverarbeitung von den Aberrationen befreit.

### Viermillionenfache Vergrößerung durch Holographie

Seit 1983 wurden – unter Förderung seitens der DFG, der DLR und der Volkswagen-Stiftung – mit einem 120 kV-Elektronenmikroskop die Grundlagen dieser neuen Methode gelegt und an die Göttinger Universität übertragen. Die quantitative Bestimmung der Objektstruktur deutlich verbessert werden, jedoch nur bis an die Grenze, die durch den hohen Vergrößerungsmaßstab gegeben ist. Die Entwicklung der Holographie ist speziell für die Holographie konzipierten Elektronenmikroskop möglich. Um die besten Möglichkeiten der Holographie zu nutzen, wurde ein Spezialmikroskop entwickelt, das die Holographie ermöglicht.



lität des zur Aufnahme des Hologramms benutzten Elektronenmikroskop zu stellen, die bislang von keinem käuflichen Elektronenmikroskop erfüllt werden: Bei einer Beschleunigungsspannung von 300 kV muß es mit einer hochkohärenten Feldemission-Elektronenquelle ausgestattet sein. Die Feldemission-Elektronenquelle muß eine mit Elektronen unverschmutzte Oberfläche haben. Darüber hinaus müssen die Hologramme bei einer Vergrößerung bis zu 4 Mio. aufgenommen werden können. Das ist eine hohe Anforderung an die Stabilität des Mikroskops. Die Stabilität muß weit über das heute übliche hinausgehen. Ein derartiges Elektronenmikroskop wurde nach unseren Spezifikationen mit erheblichem Finanzierungsaufwand von Seiten der DFG und mit Projektmitteln aus einem EG-Projekt (Brite/Euram) gebaut: Von der Firma Philips-Eindhoven (NL) wurde ein 300 kV Elektronenmikroskop mit einer speziellen Feldemission-Elektronenquelle entwickelt. Die Stabilität der Hochspannung erlaubt zusammen mit einer weitaus verbesserten Objektivlinse die Erzeugung einer Bildschärfe von jetzt 0,17 nm auf 0,13 nm, eine Vergrößerung wurde auf 4 Mio. erhöht. Die Entwicklung des Elektronenbiprismas und einer CCD-Kamera zur elektronischen Aufzeichnung der Hologramme und Direktübertragung in einen schnellen Bildverarbeitungsrechner erfolgte in unserem Institut, ebenso wie die Entwicklung der Spezial-Software zur Rekonstruktion und Darstellung der Objektstrukturen. An der Universität wurde ein Speziallabor für die optimale Aufstellung des Mikroskops zur elektronischen Aufzeichnung in hohem Maße frei von Bodenunruhe, Vibrationen und Störfeldern und akkuraten Messungen betrieben werden.

Prof. Dr. Hannes Lichte, Institut für Angewandte Physik

### Neue Studentenstatistik: Nochmals mehr Studenten in Tübingen

Die neue Studentenstatistik zeigt sich die Tendenz der letzten Semester auch im laufenden Wintersemester fort: Mit 26.208 eingeschriebenen Studierenden wurde gegenüber dem Wintersemester 1991/92 nochmals ein leichter Zuwachs von 194 (0,7%) Einschreibungen und damit ein neuer Höchststand erreicht. Wie bereits im letzten Semester, so ist die Zahl der eingeschriebenen Studierenden von 2500 auf 2415, darunter übersteigt die Zahl der Rückmeldungen von 21.767 auf 22.110. Dies ist wieder auf den starken Zugang an Erstsemestern in den Jahren 1990 und 1991 zurückzuführen. Konstant blieb die Zahl der Studienortwechsler: 1683 gegenüber 1687 vor einem Jahr. Deutlich zugenommen hat nochmals die Zahl der ausländischen Studierenden: 1087 gegenüber um 10% von 1872 auf 2060.

### Lucas-Preis 1993 an André Chouraqui, Mittler zwischen den Religionen

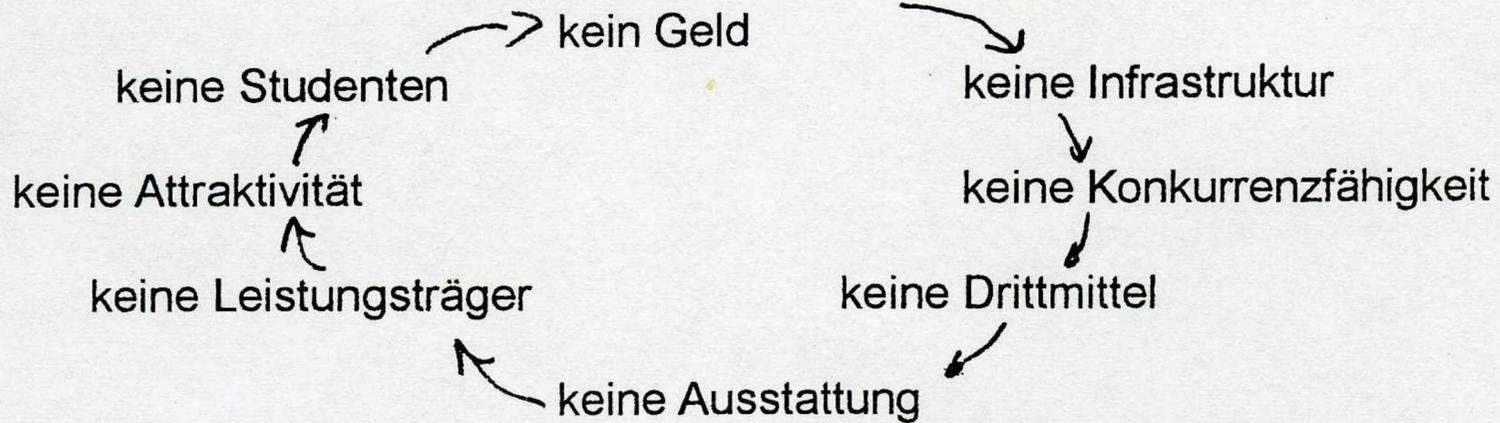
Der mit 50.000 DM dotierte Dr. I. Lucas-Preis geht im Jahr 1993 an André Chouraqui, der die Preisurkunde erhält. Der Preis ist für seinen literarischen und für seinen Einsatz für friedlichen Beziehungen zwischen den Religionen (Sv. 1993) an dem am 13. V.

Der Leopold-Lucas-Preis wird jährlich hervorragende Leistung im Gebiet der Theologie, der Geschichte, der Geschichtsforschung der Philosophie und ehrt dabei in deren Persönlichkeiten, die zur Förderung der Beziehungen zwischen Mensch und Mensch wesentlich beigetragen haben. Die Leistungen im Bereich der Theologie, der Philosophie und der Geschichte, die die Preisurkunden annehmen, gemacht haben. Zu den Preisträgern gehören namhafte Persönlichkeiten wie Karl Rahner, Sir Edmund Popper, Leopold Senghor, XIV. Dalai Lama. Die Auszeichnung wurde 1972 von Generalkonsul I. Lucas, Ehrensensator der Eberhard Universität, zum 100. Geburtstag in Thesenstadt umgekommen des jüdischen Gelehrten und R. Dr. Leopold Lucas, gestiftet. Die jüdisch-Theologische Fakultät verleiht den Preis im Namen der Universität.

Der Preisträger des Jahres 1993 aus einer alten in Nordafrika ansepharischen Familie, ist 1917 in Paris geboren und dort aufgewachsen. Er erhielt eine höhere Schulbildung in Frankreich, in Paris studierte er Jura, trieb rabbinische Studien. Seine juristische Karriere wurde durch die Verfolgung der Juden in Frankreich unter der Diktatur von Hitler unterbrochen. Chouraqui wurde 1945 in der Résistance in Frankreich. Von 1945 bis 1956 war er Vizepräsident des Komitees der nichtstaatlichen Organisationen in der UNICEF-UNAC in dieser Eigenschaft ein Programm der Bekämpfung des Trachoms vorzuführen in Jerusalem. Von 1965 bis 1991 Vizebürgermeister von Jerusalem tätig für kulturelle Angelegenheiten für internationale und interkonfessionelle Beziehungen. Chouraqui Bücher in fünfzehn Sprachen übersetzt, mehrere französischen Preisen ausgezeichnet.

Bevor sich der jüdischen, arabischen und französischen Kultur zu fühlend, versucht Chouraqui, gutes Verständnis bei Juden, Christen und Muslimen für ihre Nachbarreligionen zu wecken. Dem dienen auch seine Übersetzungen arabischer mittelalterlicher Schriftsteller, vor allem aber auch die Übersetzung des Neuen Testaments und des Korans aus den Ursprache Französisch.

## Circulus Vitiosus



## Wie können wir ihn durchbrechen?

obwohl doch der kultu  
Blüte in allen Teilen C  
daß der sächsische  
thüringische Bergman  
mecklenburgische Ha

Davon ist aber  
„Hochstauflöser“  
dieser Initiativ  
hochstauflöser  
nicht kommerz  
Forscher oder I  
DFG für diese  
umgesetzt wir  
Fördermittel für  
Stuttgart und Ti

In Gesprächen  
Aus Gespräch  
Situation im I  
Verantwortung  
wäre ich Ihre

Wie können wir ihn durchbrechen?

Senders: TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN  
Sektion Physik  
WB/AG  
TU DRESDEN  
Mommensenstraße 13 | DDR Dresden - 8027  
Telefon: \_\_\_\_\_

An: Dr. Kurt Scheerschmidt

KÜRZMITTEILUNG

Unser Zeichen	Datum
Mit der Bitte um:	<input type="checkbox"/> Ablage
<input type="checkbox"/> Erledigung	<input type="checkbox"/> Kenntnisnahme
<input type="checkbox"/> Stellungnahme	<input type="checkbox"/> Rückgabe
<input type="checkbox"/> Rücksprache	<input type="checkbox"/> Unterzeichnung
<input type="checkbox"/> Weiterleitung on	<input type="checkbox"/> Anlage

wir haben noch mal den  
Teil besten für  
Dr.  
Hannes Lichte

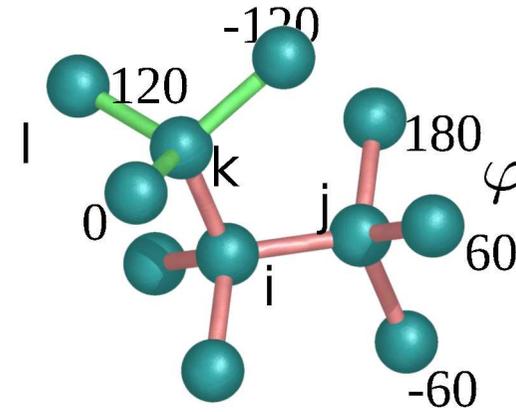
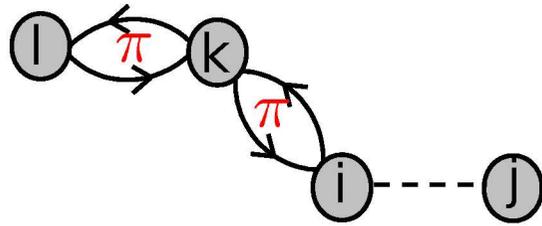
Unterschrift

Inverses Problem:

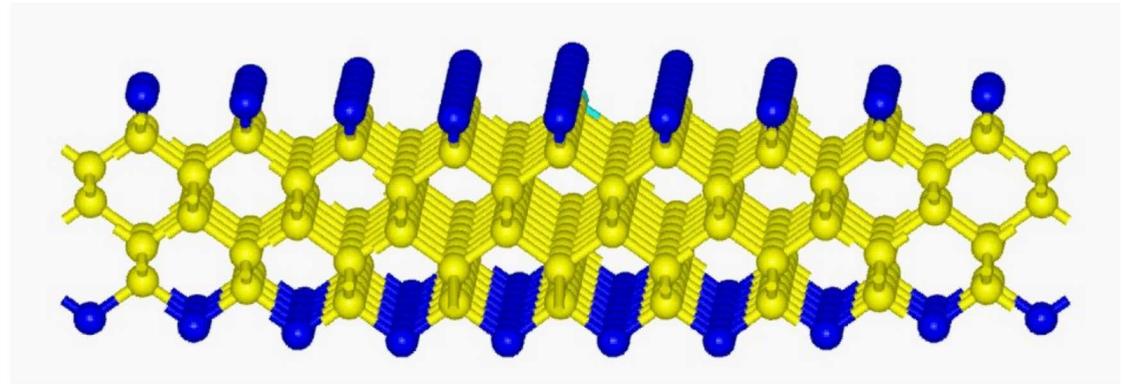
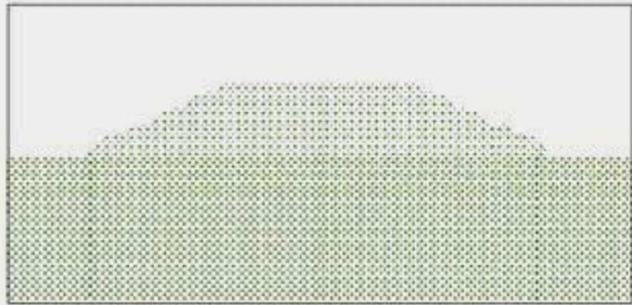
Struktur ?

Potential ?

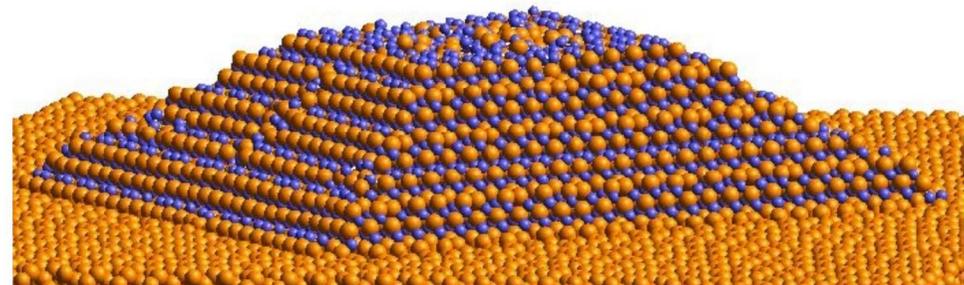
BOP including  $\pi$ - and  $\sigma$ - contributions



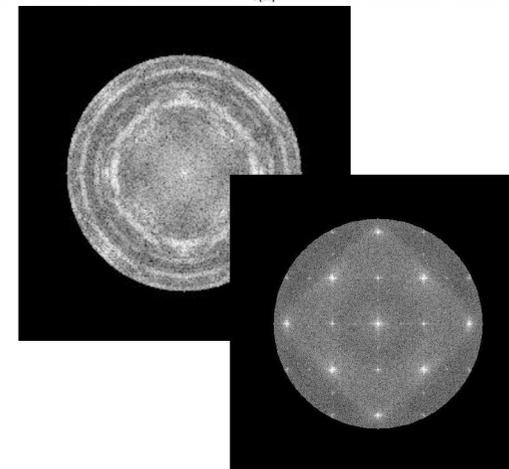
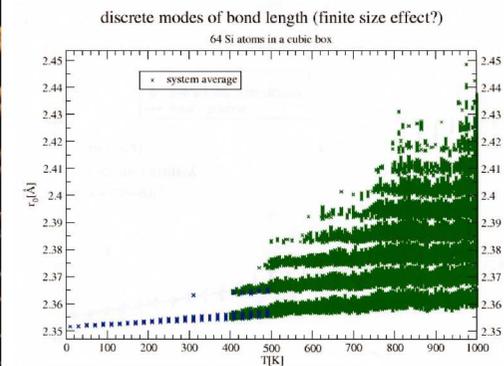
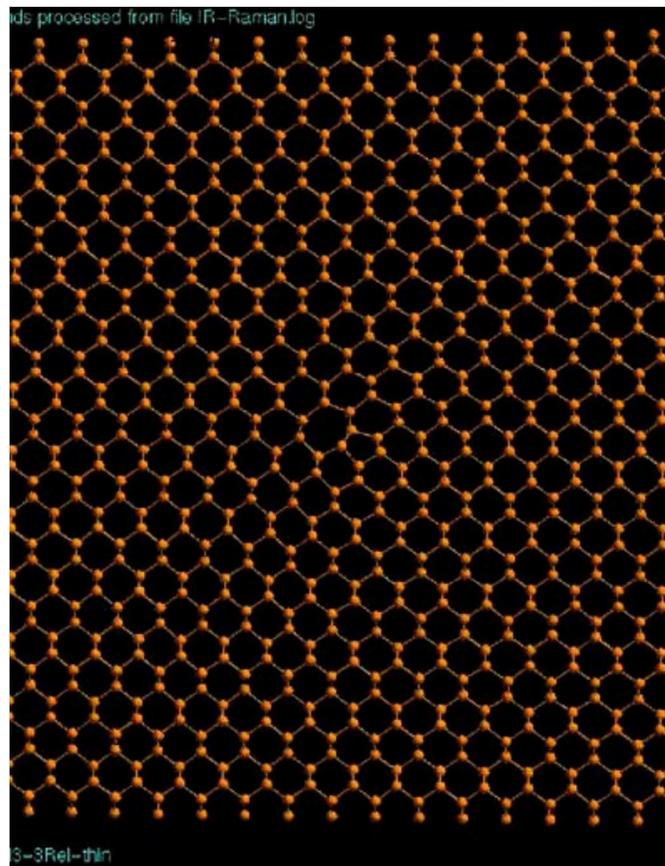
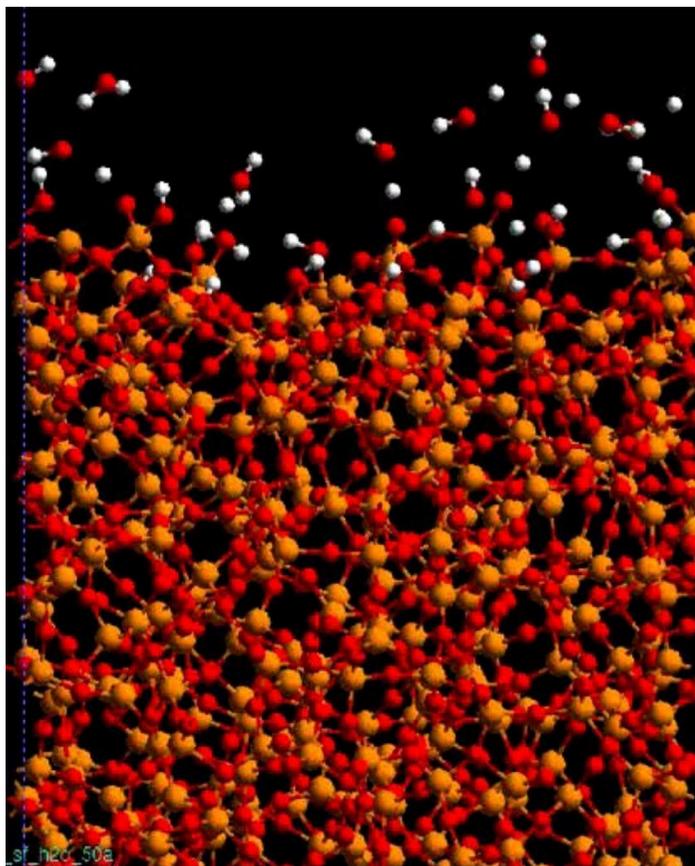
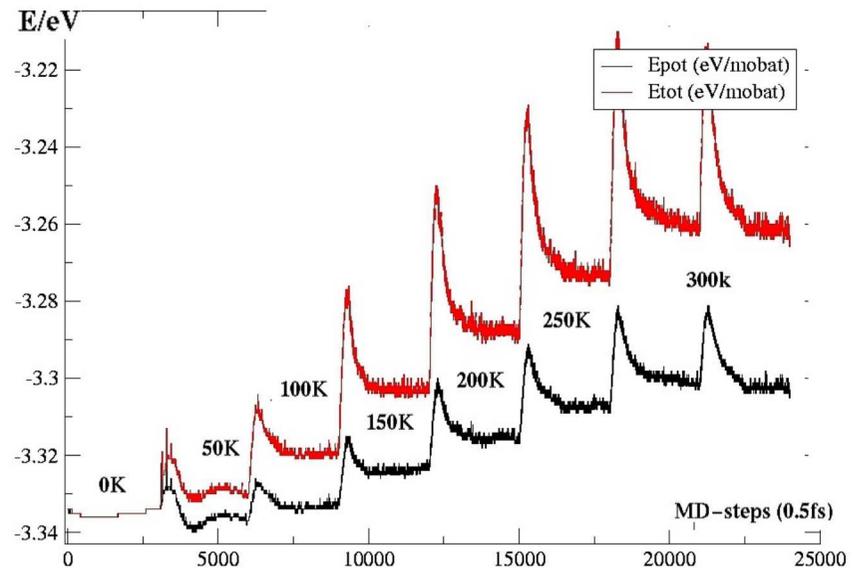
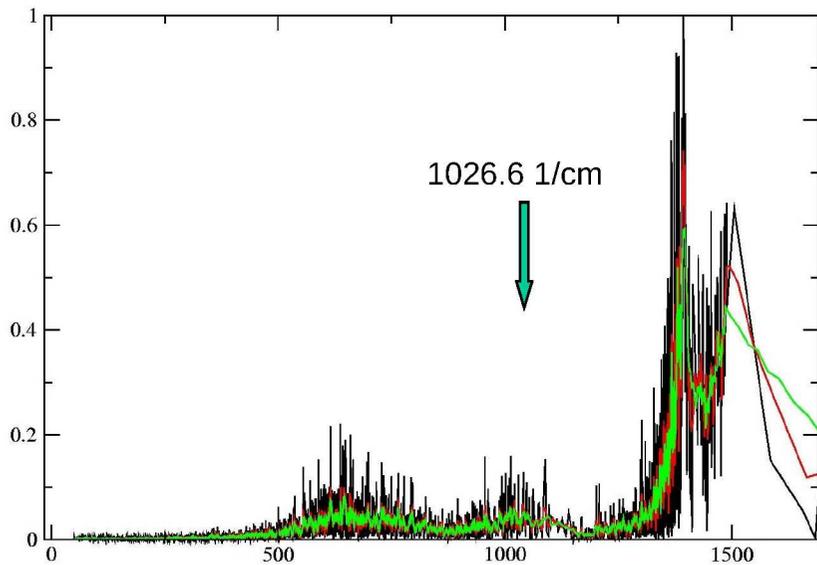
out1-x001

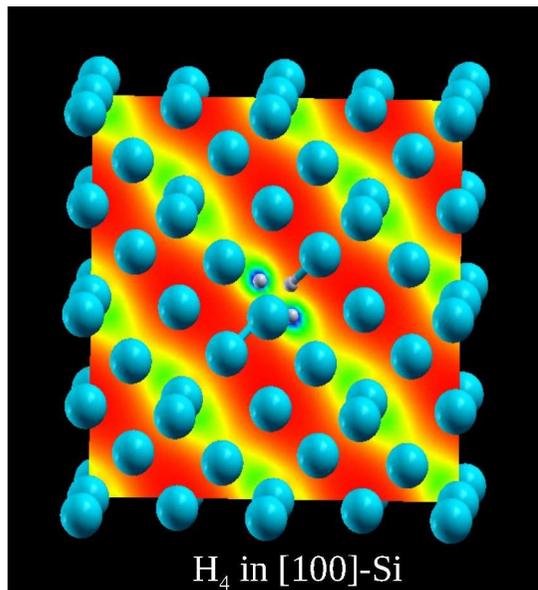


Si (110) surface dimerization 0K- $\rightarrow$ 600K- $\rightarrow$ 0K

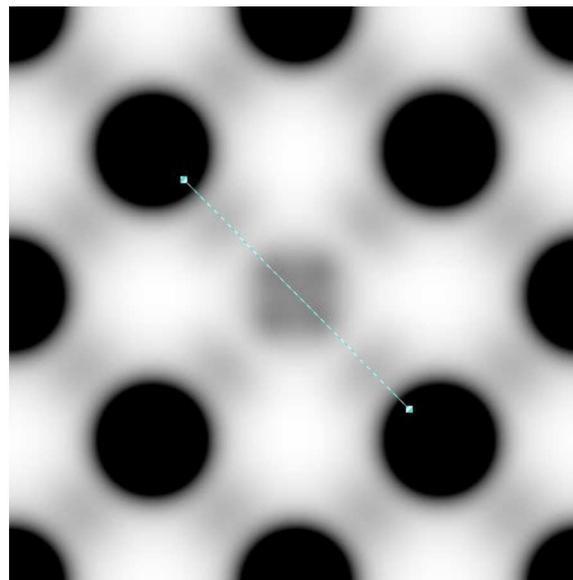


Relaxation of an uncapped (100)-SiGe/Si

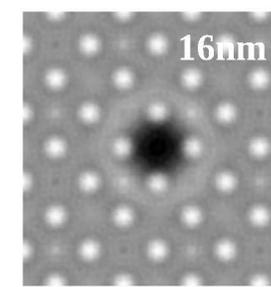
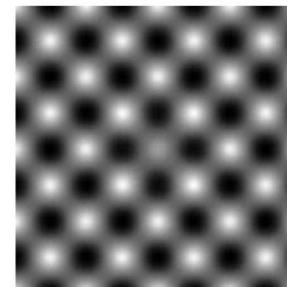
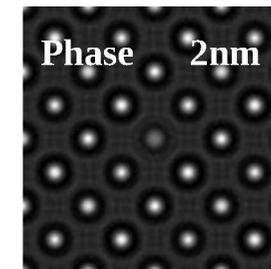
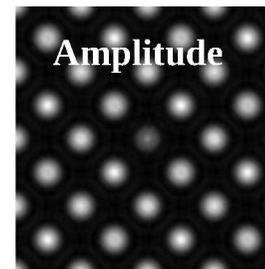




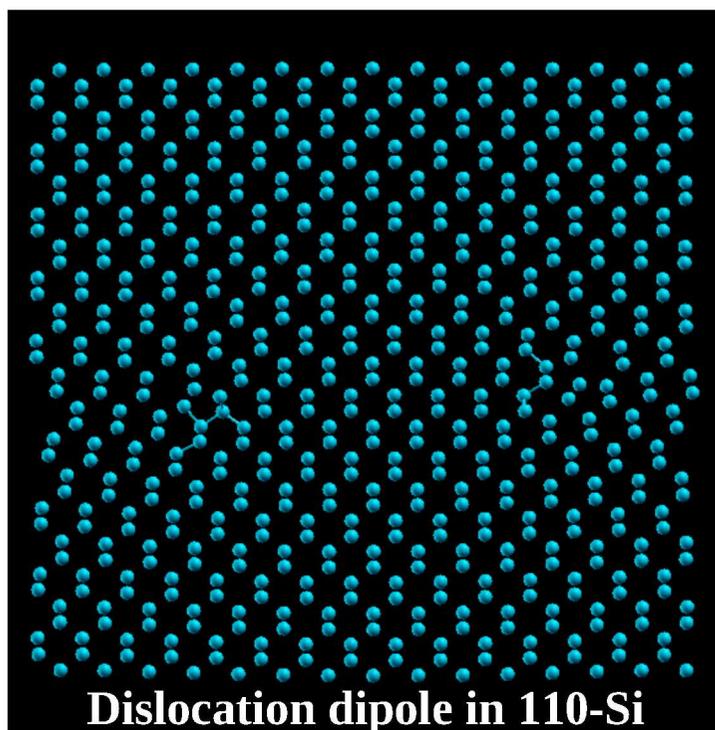
DFT structure & charge density



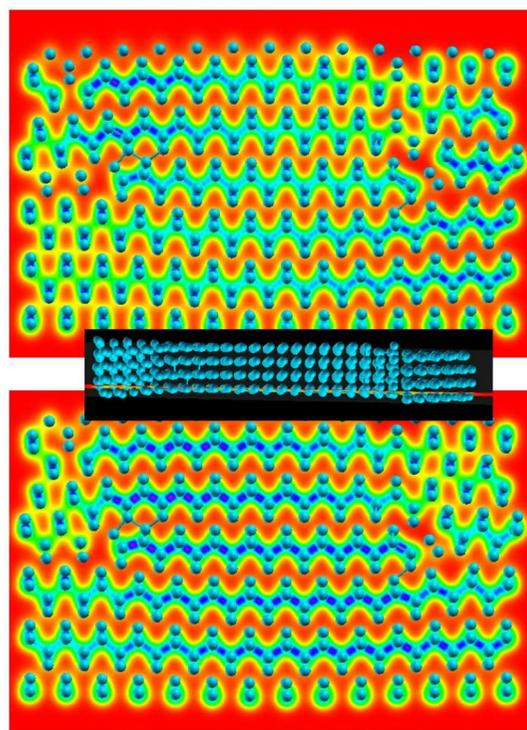
Bond Order (scattering) Potential



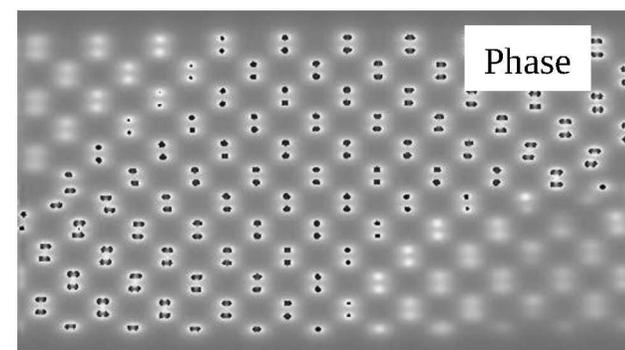
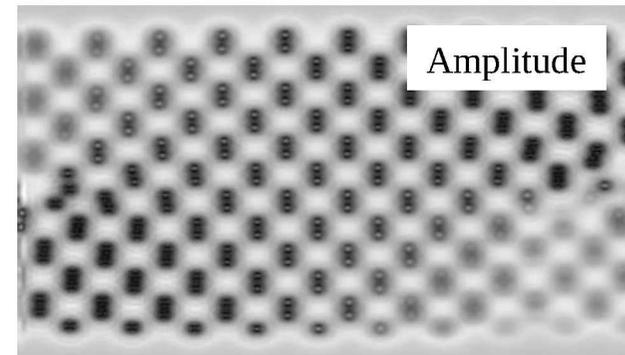
Simulated exit wave



BOP optimized structure



DFT charge density



Simulated exit wave

Inverses Problem:  
Erste Lösungen in  
Elektronenmikroskopie

?

multi-slice inversion  
(van Dyck, Griblyuk, Lentzen,  
Allen, Spargo, Koch)  
Pade-inversion (Spence)  
non-Convex sets (Spence)  
**local linearization**

parameter  
& potential

deviations from  
reference structures:  
displacement field (Head)  
**algebraic discretization**

# Inversion ?

exit object  
wave

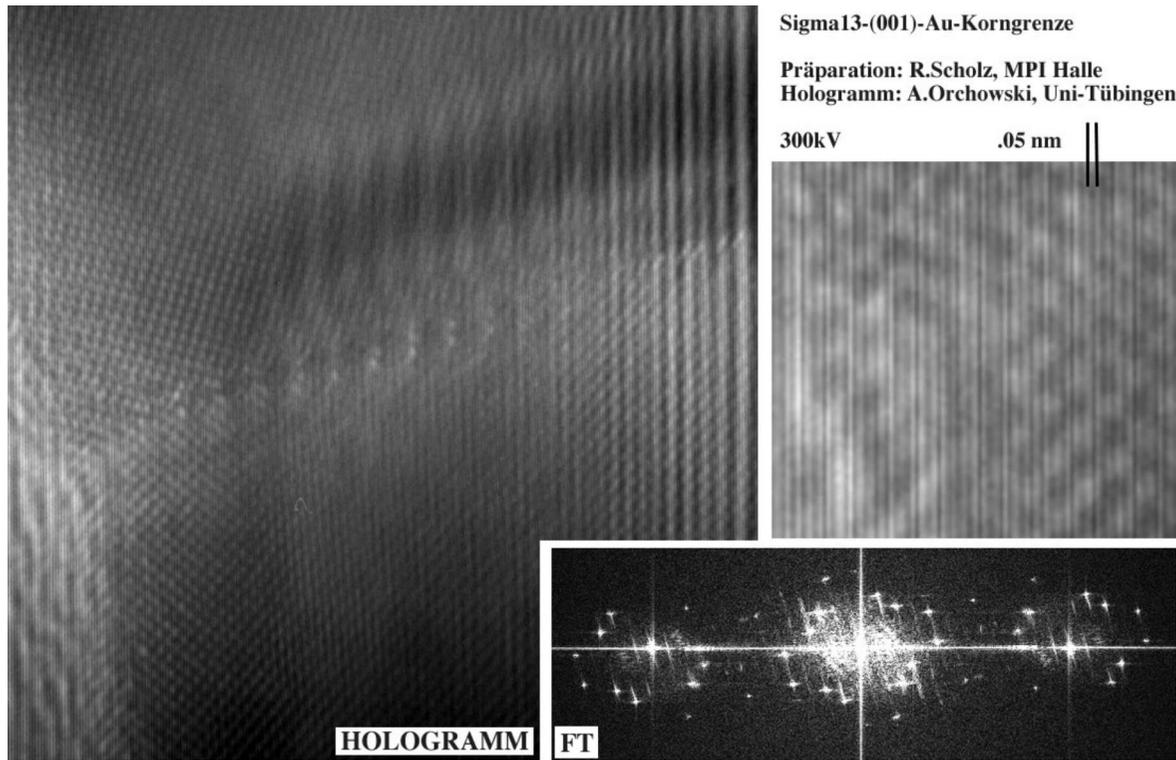
no iteration  
same ambiguities  
additional instabilities

atomic  
displacements

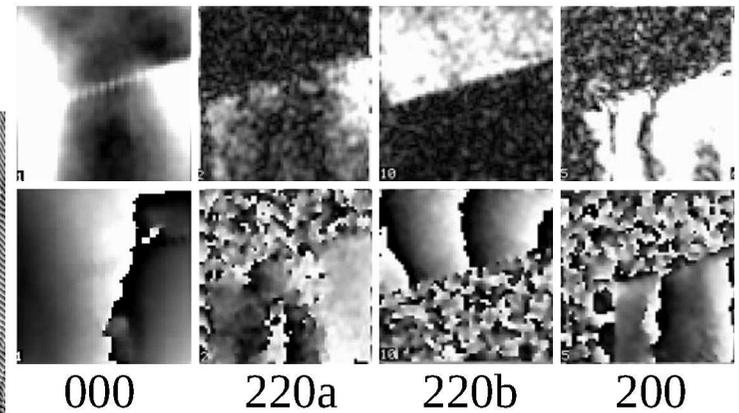
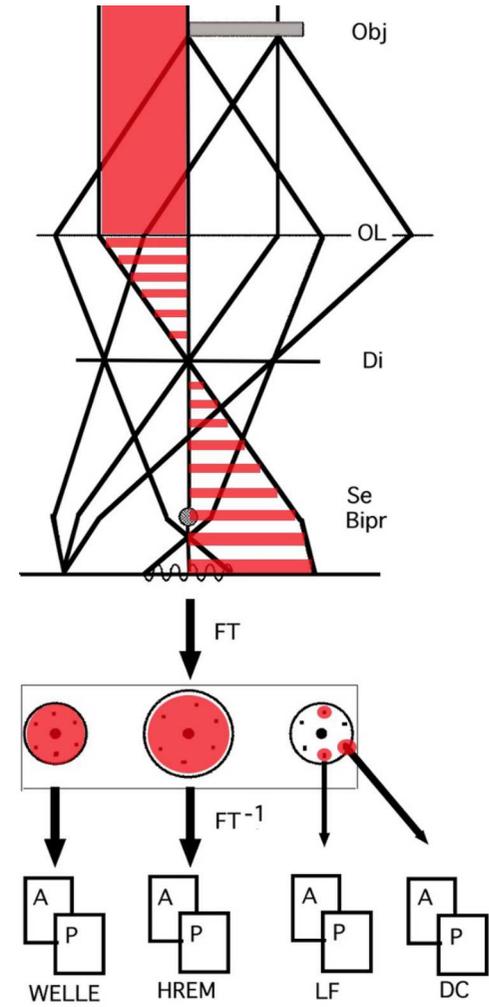
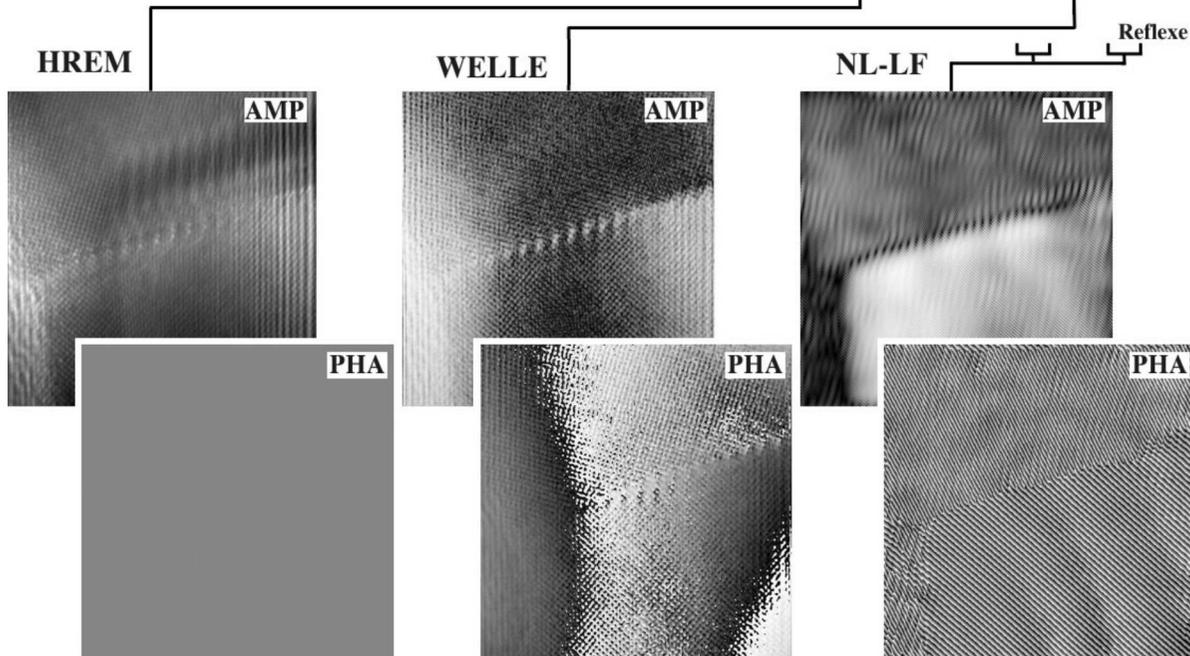
image

direct interpretation  
by data reduction:  
Fourier filtering  
QUANTITEM  
Fuzzy & Neuro-Net  
Strain analysis

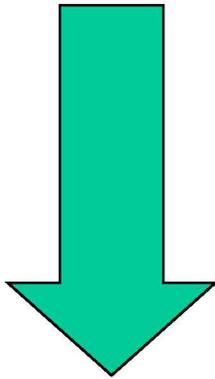
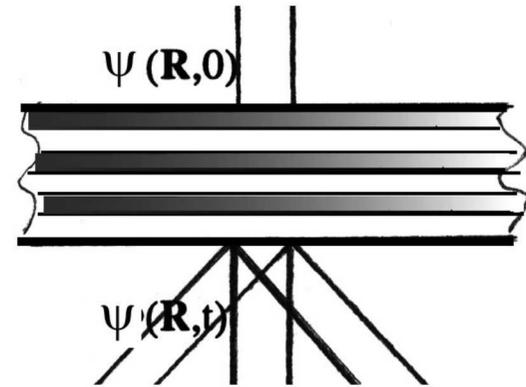
**reference beam (holography)**  
defocus series (Kirkland, van Dyck ...)  
Gerchberg-Saxton (Jansson)  
tilt-series, voltage variation



Autokorrelationsband      Seitenband



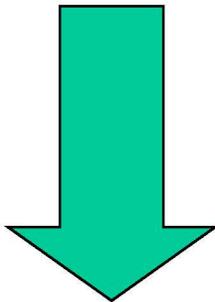
$$\psi = M(\mathbf{X}) \psi_0$$



Assumptions:

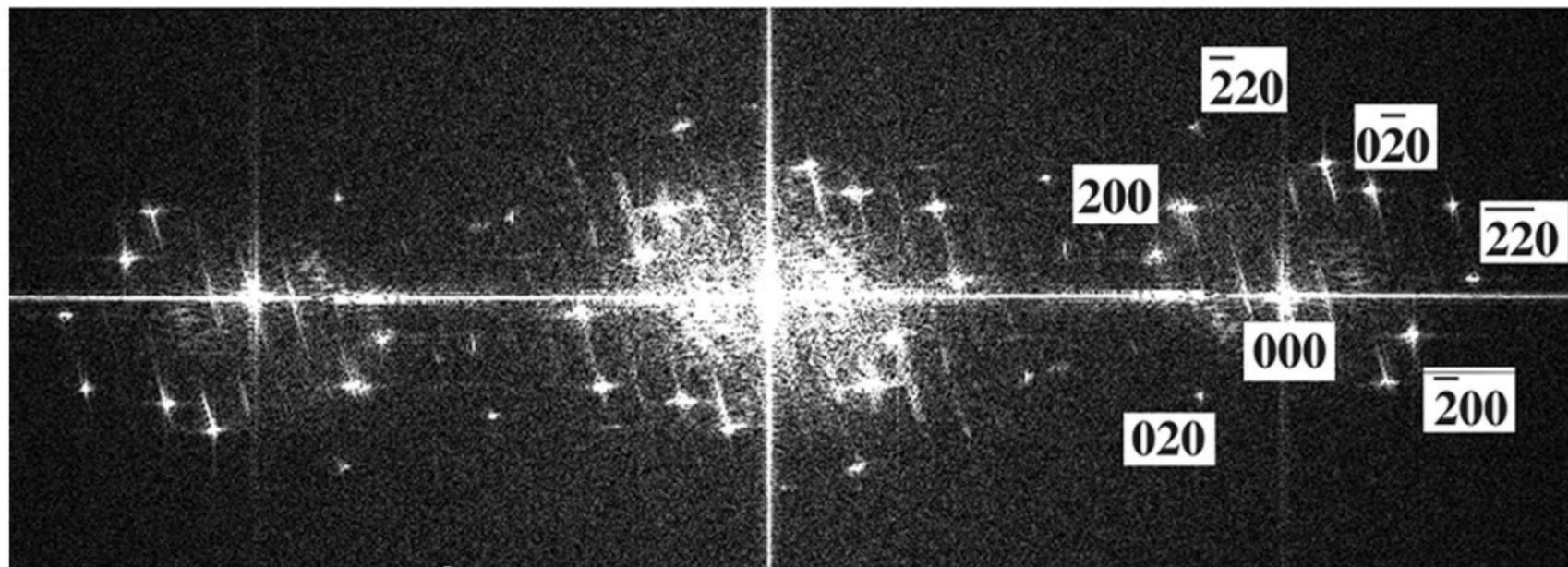
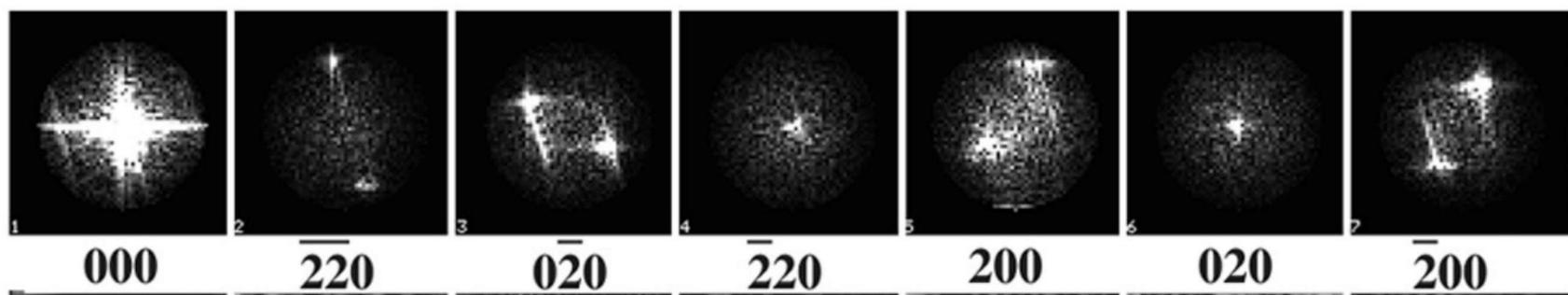
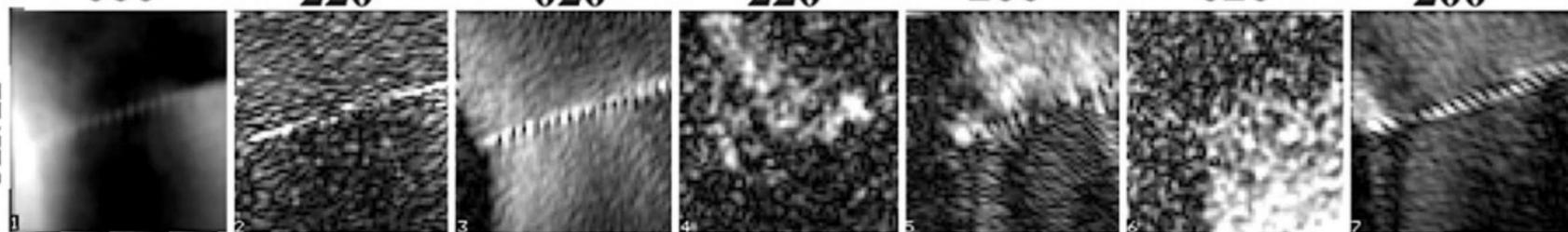
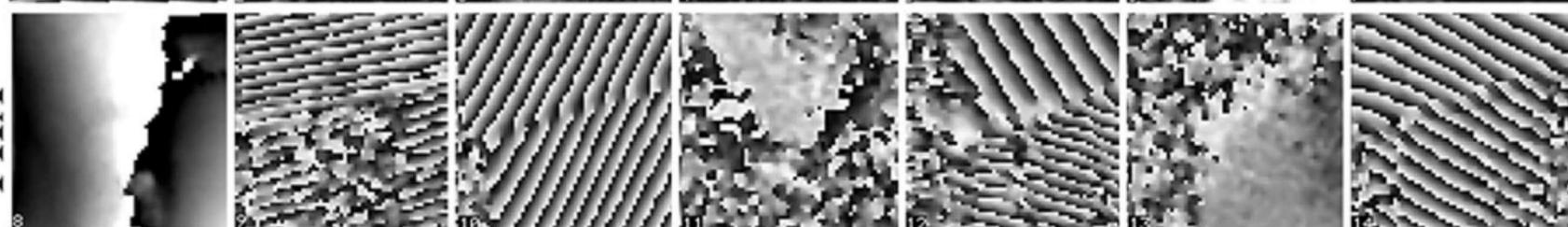
- weakly distorted crystal:  $t_0, K_0$  a priori known
- unknown parameter set  $\mathbf{X} = \{t, K, V_g, u\}$

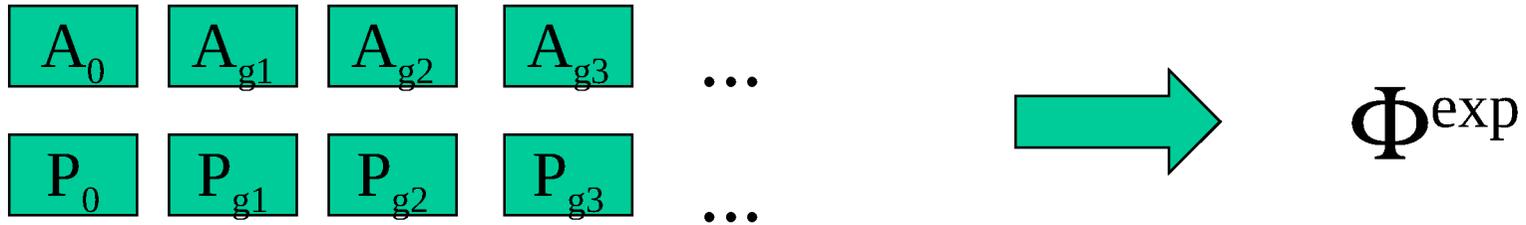
$$\psi = M(\mathbf{X}_0) \psi_0 + \vartheta M(\mathbf{X}_0) (\mathbf{X} - \mathbf{X}_0) \psi_0$$



- Perturbation approximation
- Generalized Inverse (Penrose-Moore)

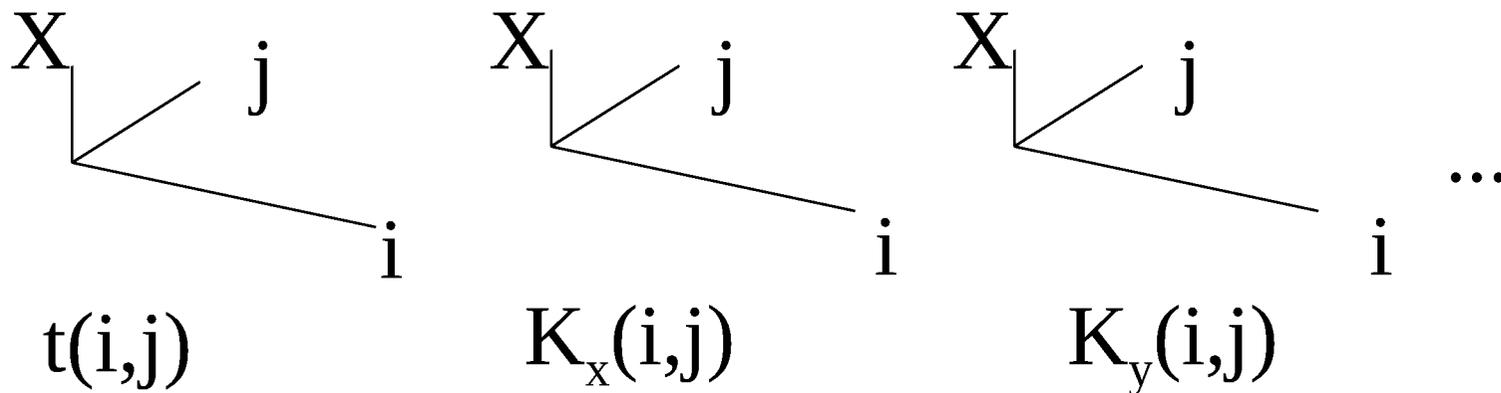
$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 + (\vartheta M^T \vartheta M)^{-1} \vartheta M^T \cdot [\Phi^{\text{exp}} - \Phi(\mathbf{X}_0)]$$

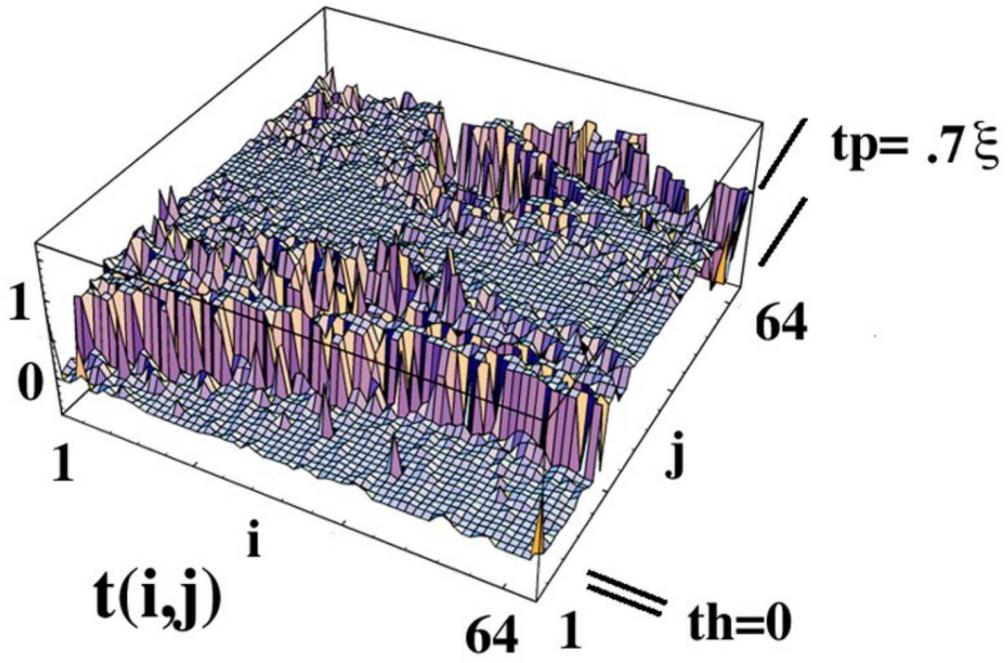
**a****b****c****AMP****PHA**



$$X = X_0 + (\partial M^T \partial M)^{-1} \partial M^T \cdot [\Phi^{\text{exp}} -$$

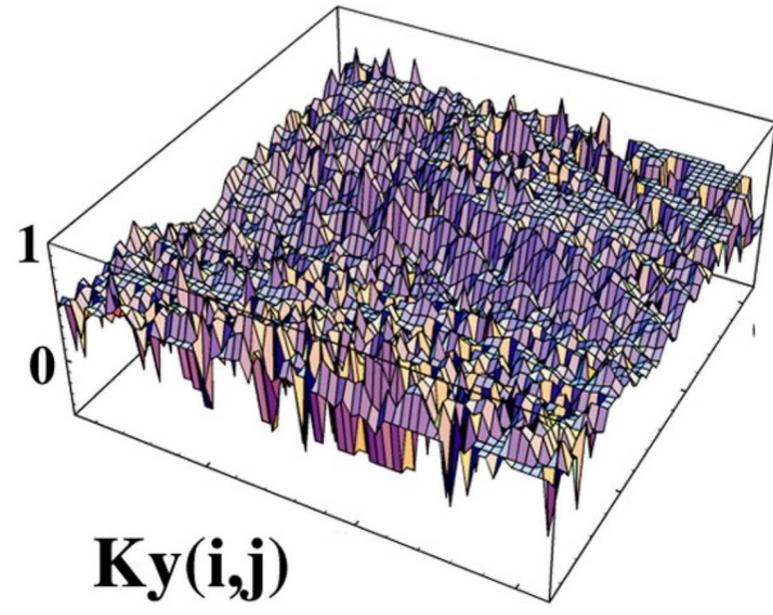
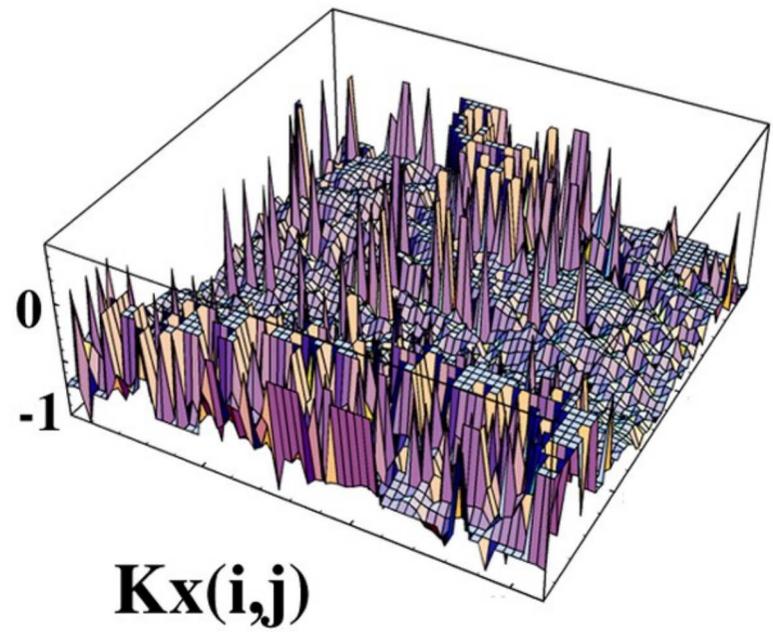
$$\Phi(X_0)]$$





**Iteratively retrieved  
 local thickness  $t$   
 and orientation  $(K_x, K_y)$**

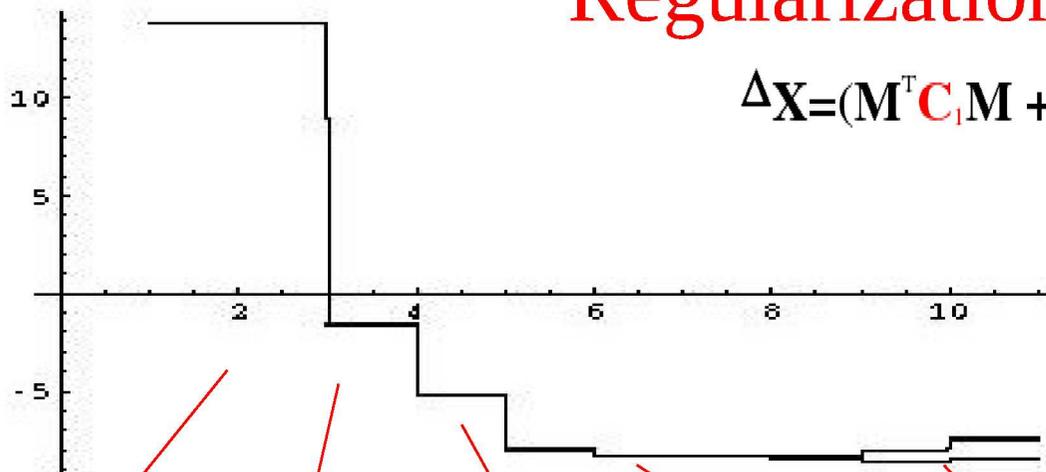
non-stabilized  
 9 single reflections  
 initial  $0 < t < 2\xi$   
 $K = (.51, .71)$   
 final  $th=0$  hole  
 $tp=14\text{nm}$  plateau



# Regularization

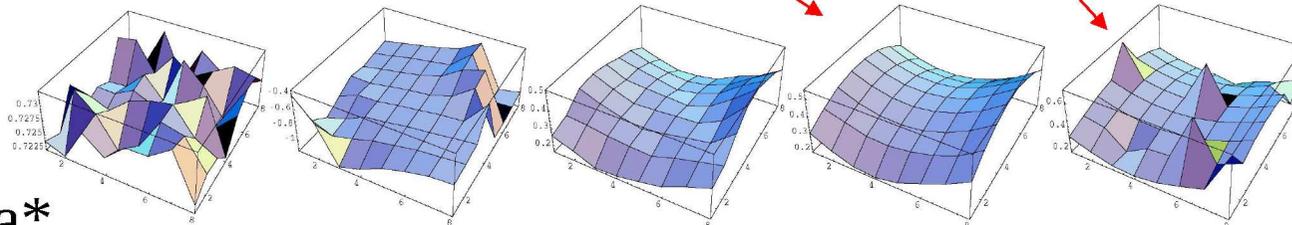
$$\Delta \mathbf{X} = (\mathbf{M}^T \mathbf{C}_1 \mathbf{M} + \rho \mathbf{C}_2)^{-1} \mathbf{M}^T \Delta \Phi$$

$\lg(\varepsilon)$

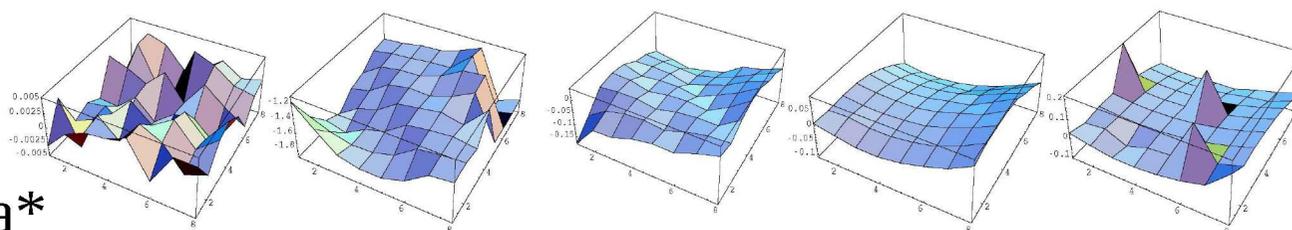


$-\lg(\rho)$

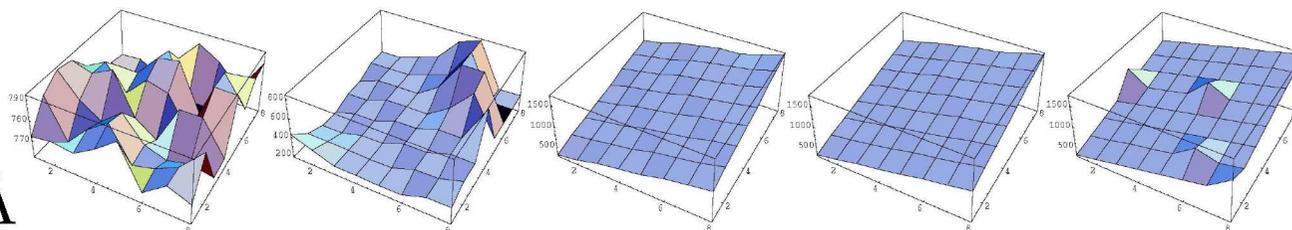
$K_x(i,j)/a^*$

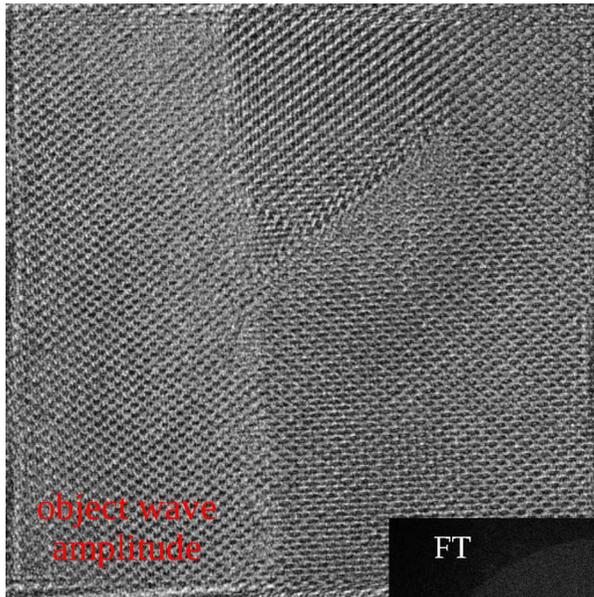


$K_y(i,j)/a^*$

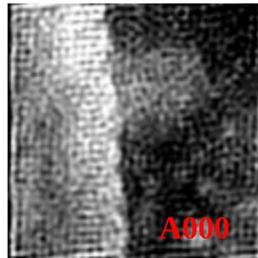


$t(i,j)/\text{Å}$

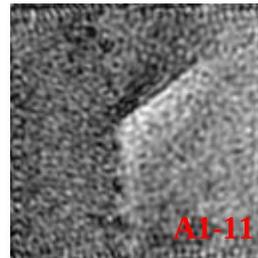




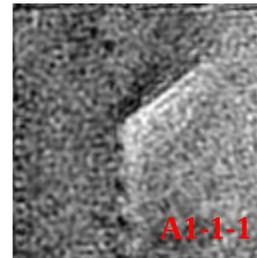
object wave  
amplitude



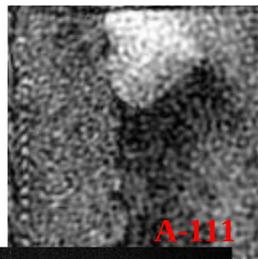
A000



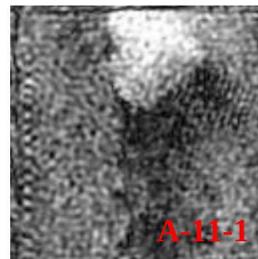
A1-11



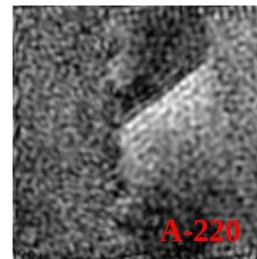
A1-1-1



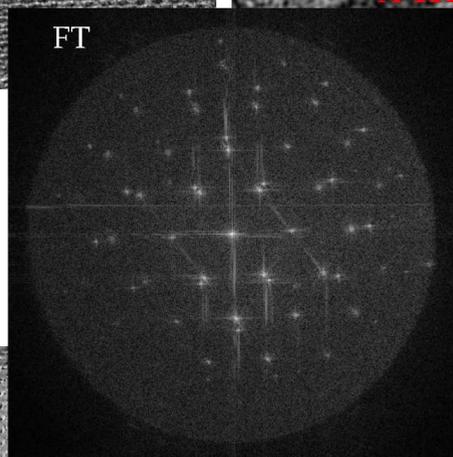
A-111



A-11-1



A-220



FT

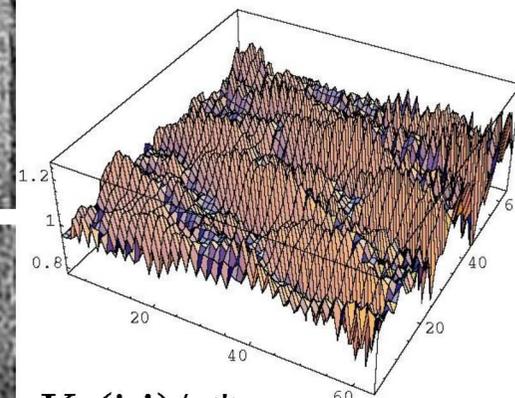
Ge-CdTe, 300kV  
Sample: D. Smith  
Holo: H. Lichte,  
M. Lehmann

set 1: Ge

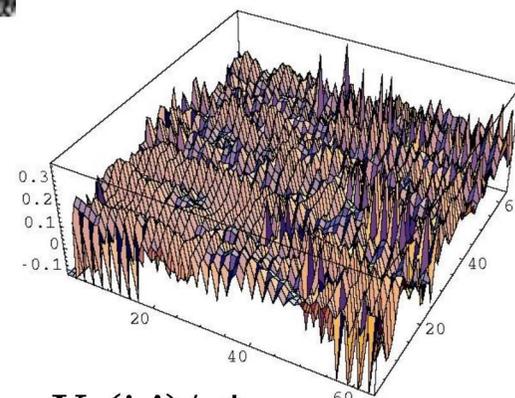
set 2: CdTe

$$dV_o/V_o = 0.02\%$$

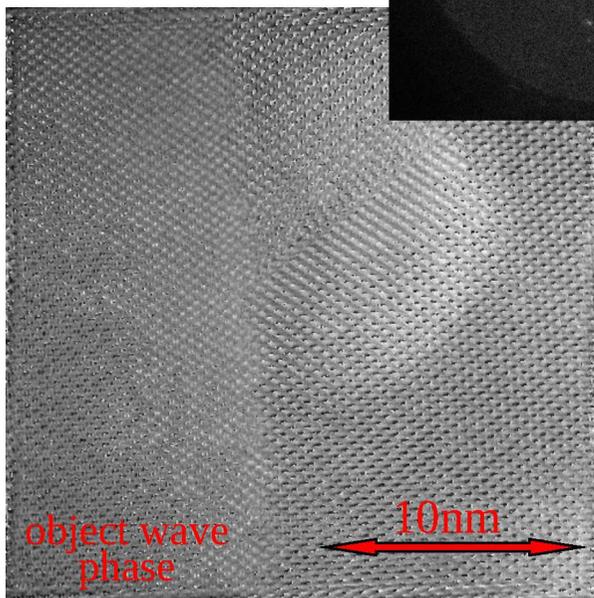
$$dV'_o/V'_o = 0.8\%$$



$K_x(i,j)/a^*$

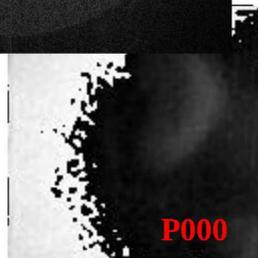


$K_y(i,j)/a^*$

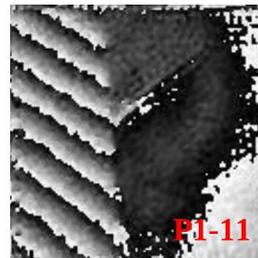


object wave  
phase

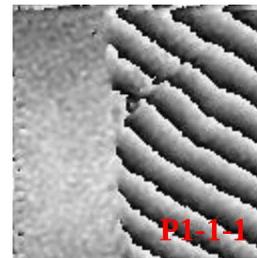
10nm



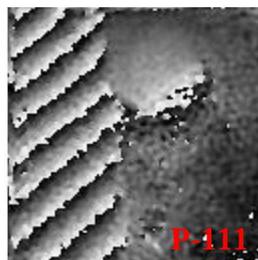
P000



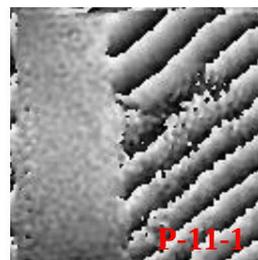
P1-11



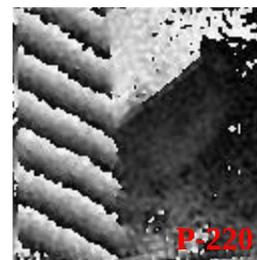
P1-1-1



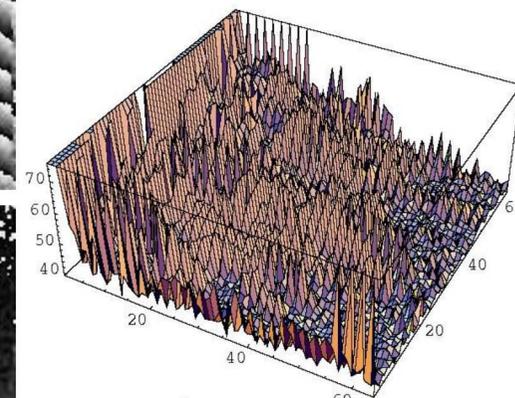
P-111



P-11-1



P-220



$t(i,j)/\text{\AA}$

Und noch ein  
inverses Problem

Kunst & Wissenschaft?

Natur & Geist?





©dobe  
m