

## 研究速報

## ビート光源を用いる OBIC 顕微鏡

安田 裕昭・小松 進一

早稲田大学理工学部応用物理学科 〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1

(1989年2月25日受理)

## OBIC Microscope Using a Beating Laser Source

Hiroaki YASUDA and Shin'ichi KOMATSU

Department of Applied Physics, School of Science and Engineering, Waseda University,  
3-4-1, Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169

A heterodyne OBIC (optical beam induced current) microscope using a beating laser source is proposed and its characteristics are compared with those of a conventional OBIC microscope. A beating light beam was produced by interfering two orthogonally oscillating light beams from a Zeeman laser. A SNRs (signal to noise ratios) of the both microscopes were experimentally examined with a sample pin photodiode, and it is shown that the superiority of the heterodyne microscope is remarkable especially at low incident light levels and/or under the presence of background light.

## 1. はじめに

近年、半導体デバイスの高密度化、高精度化、高速化は急速に進み、いくつもの新しい素子や材料が研究開発されている。それに伴い高性能の検査用顕微鏡が求められてきている。これらを光学的に検査する方法としては、赤外線散乱トモグラフィ<sup>1)</sup>をはじめ種々のものがあるが、そのなかで OBIC (optical beam induced current) 顕微鏡<sup>2,3)</sup> は、転位や粒界などの結晶欠陥のほかに、他の方法ではわからない電気的特性、たとえば表面再結合速度やキャリアのライフタイムなども評価できるので注目されている。

OBIC 法は、フォトダイオードや太陽電池など pn 接合をもつ半導体に、レンズで絞った光ビームを走査しながら照射し、発生した余剰キャリアを信号として電気的応答の不均一性を映像化するというものである。OBIC 法とよく比較される方法として電子ビームで励起する EBIC (electron beam induced current) 法があるが、OBIC 法は分解能の点では劣るものの、安価で真空を必要とせず、装置が簡素で小型で、励起エネルギーを正確に制御できる等の利点をもつため重要視されている。

本研究では、OBIC 顕微鏡の SN 比を向上させるた

めに、ヘテロダイン混合により一定周波数で強度変調されたレーザー光を励起光源として用いる OBIC 顕微鏡 (以下ヘテロダイン OBIC 顕微鏡と呼ぶ) を試作し、その特性を評価した。試作した顕微鏡は、OBIC 像と同時に反射像も観察できるように、通常の反射型走査顕微鏡としての機能ももたせた。

## 2. 原 理

OBIC 法の用途の一つに、光電変換素子の応答の不均一性などの測定があるが、フォトダイオードや太陽電池の応答の不均一性を調べる場合は、応答が悪い部分でも出力信号の減少は数%とコントラストが低いいため、SN 比の高い測定が必要となる。

OBIC 法においてノイズの主な原因として考えられるものは、不必要な散乱光によるもの、電流-電圧変換・増幅回路等の電気的ノイズ、試料および周囲の温度に起因する暗電流などである。これらのほとんどは、ホワイトノイズおよび  $1/f$  ノイズのどちらかと考えられるので、励起光強度を一定周波数で強度変調し、出力信号をロックイン検出することにより、励起光の光量が少ない場合や背景光がある場合にも、SN 比の高い測定が可能となる。また、このとき強度変換を行なうのに光チョッ

パーのような機械的方式を用いるよりも、異なる周波数の光を混合して得られる光ビートを利用するほうが、振動などの悪影響が無く、より高周波の強度変調が可能で SN 比の向上も顕著である。

### 3. 実 験

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。励起光源には、安定化横ゼーマンレーザー (波長 632.8 nm) を用いた。このレーザーより出射される光は、垂直方向の偏光成分と水平方向の偏光成分を含み (Fig. 1 の矢印の方向がそれぞれの周波数成分の光の偏光方向を表わしている)、これらの周波数は互いにわずかに異なる (50~100 kHz 程度)。この周波数領域では、SN 比向上の効果を得るのに十分なほど高く、またロックイン検出などの信号処理も容易である。

今回は、おのおのの偏光方向に  $45^\circ$  の角度をもたせて偏光板を入れることによりビート光を作った。また、偏光板の後に偏光ビームスプリッターと  $\lambda/4$  板を入れることにより、戻り光をなくすとともに反射型走査顕微鏡としても使えるようにした。試料は、パーソナルコンピュータシステム (NEC PC 9801 UV) で制御された X-Y ステージにのせられ、この X-Y ステージを走査しながら信号をコンピュータに取り込むことにより OBIC 像を得た。試料には、市販の Si pin フォトダイオードのガラス窓を取り除いて使用し、NA が 0.3 の顕微鏡用対物レンズを用いてレーザー光を集光した。また、この光学系は偏光板の角度を変えるか、または取り除くだけで、強度変調しない通常の OBIC 測定に用いることも可能である。

このような装置を用いて、まず SN 比の検討を行なっ

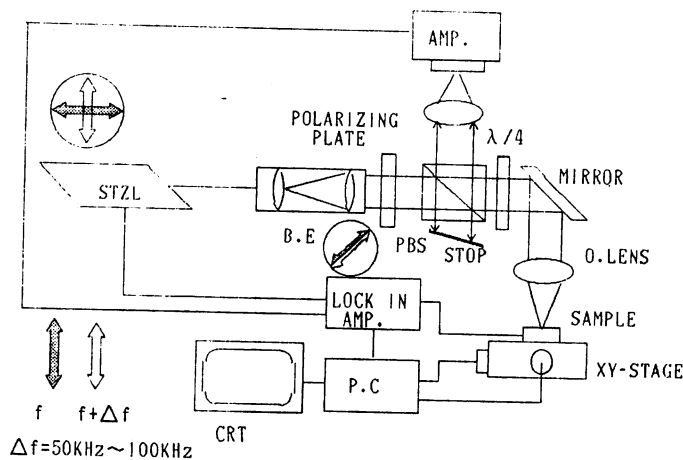


Fig. 1 Schematic block diagram of experimental set up.

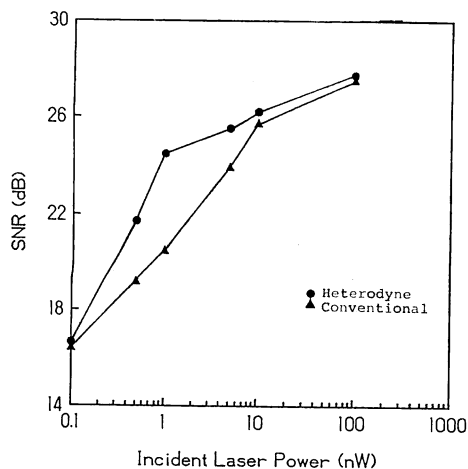


Fig. 2 Dependence of the SNR on the incident laser beam power.

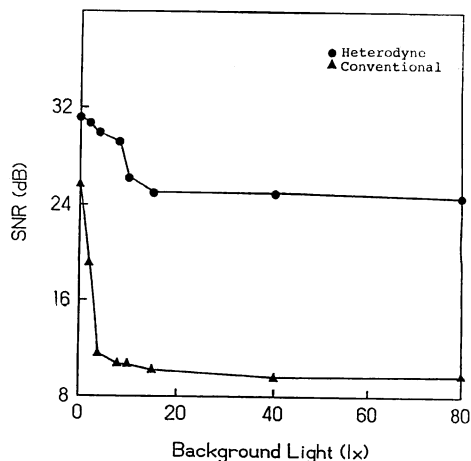


Fig. 3 Dependence of the SNR on the background light.

た。励起する光の光量を順次 ND フィルタにより変化させて (0.1~100 nW) おおのの場合について、試料上の一点から得られる測定電圧に含まれるゆらぎの分散を測定し、SN 比を求めた。次に、励起光の光量一定 (10 nW) のもとの、試料上での背景光の照度を変化させ (0~80 lx) SN 比を求めた。SN 比としては、平均電圧とゆらぎの標準偏差との比を求めた。

さらに、ヘテロダイン OBIC 顕微鏡により、試料の OBIC 像を求めた。

#### 4. 結 果

励起光の光量と測定量の SN 比の関係を Fig. 2 に示す。この図においてビート光はその平均光量をもって光量とした。この結果よりビート光を用いることにより SN 比が向上することがわかる。特に励起光の光量があり大きく取れないとき (1 nW 程度) にビートによる方法が有効である。

次に、測定面での背景光量と測定値の SN 比の関係を Fig. 3 に示す。この結果より、通常の方法では測定面での背景光をほとんど無くさなければ測定が不可能になってしまうが、ビート光を用いれば多少周りが明るい環境でも測定可能であるということがわかる。

実際に本装置を用いて測定した OBIC 像を Fig. 4 に示す。この場合の測定はすべて暗室中、除振台上で行なった。この画像は  $5\mu\text{m}$  間隔で、 $128\times 128$  の画素について行ない、これに要した時間は1画面につき約 60 分であった。試料には直径  $0.4\text{mm}$  の光電面をもつ Si pin フォトダイオードを用い、その光電面全面を映像化した。白っぽい部分が光電面に対応しており、この光電面の内部にも、やや応答の悪い部分があることがわかる。応答が最も悪い部分の出力信号の減少は、光電面のその他の場所の平均出力信号の約 8% であった。同一の試料を金属顕微鏡で観察したところ、光誘起電流の小さい部分は半導体表面の傷であると考えられる。

Fig. 5 には、本装置を用いて測定した、より微小な部分の OBIC 像を示す。試料には Si pin フォトダイオードを用い、 $1\mu\text{m}$  間隔で、 $128\times 128$  の画素について測定を行なった。この図においても、周りより応答の悪い部分がみられる。この場合においても応答が最も悪い部分の出力信号の減少は、平均出力信号の約 8% であった。

#### 5. 考 察

今回の実験結果より、ビートにより強度変調された励

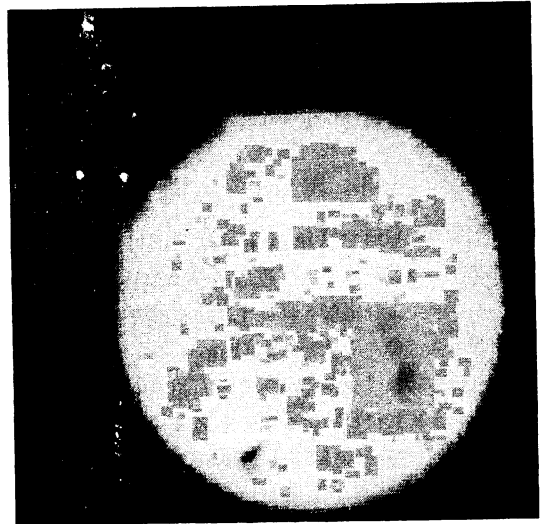


Fig. 4 OBIC image of a pin photodiode obtained with the heterodyne OBIC microscope by sampling  $128\times 128$  data points with  $5\mu\text{m}$  interval.

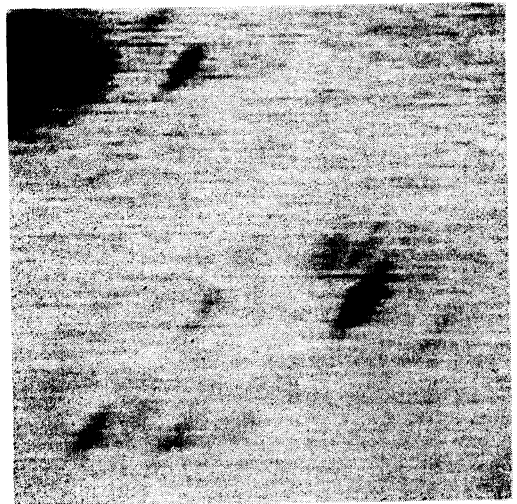


Fig. 5 Enlarged OBIC image of the same sample as in Fig. 4.  $128\times 128$  data points were sampled at  $1\mu\text{m}$  step.

起光を用いることにより、OBIC 法の SN 比を向上させることができた。これまで OBIC 測定は、不必要な迷光や背景光が試料面にあたらない状態で、比較的強い励起光を必要としたが、本方法によれば、多少周囲が明るい場合や励起光量が十分大きく取れないときも SN 比の良い測定が可能となる。たとえば、OBIC 法のほかに、励起光の波長の違いによる電気的不均一性を測定するために、キセノンランプのような白色光源を分光して光源に用いる MBIC 法<sup>4)</sup> (monochromatic beam induced current) もあるが、この方法は、レーザービー

ムを光源に用いるものと違い試料上で十分な光量を得ることができない。このため不必要な散乱光や電氣的ノイズに対して十分な配慮をしなければならないが、この方法においてもビートした励起光を用いれば、より精度のよい測定が行なえることが期待できる。このような場合に、ビート光を得るには、ゼーマンレーザーの代わりにメカニカルチョッパーや、音響光学素子などを利用すればよい。

## 6. ま と め

光ビートにより強度変調されたレーザー光を励起光として用いる OBIC 顕微鏡を試作し、その評価を実験的に行なった。この方法によれば、励起光量が十分に大きく取れない場合や、多少周囲が明るい場合にも通常の OBIC 法と比較して高い SN 比が得られることがわか

った。

終わりに、本研究を進めるにあたり、ご助言、ご協力をいただいた本学大頭仁教授に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) T. Ogawa: "Infrared light scattering tomography with an electrical streak camera for characterization of semiconductor crystals," *Rev. Sci. Instrum.*, **57** (1986) 1135-1139.
- 2) T. Wilson and C. Sheppard: *Theory and Practice of Scanning Optical Microscopy* (Academic Press, London, 1984) pp. 179-195.
- 3) 安田裕昭, 小松進一, 大頭 仁: 応用物理学会学術講演会 (秋季) 講演予稿集 (1987) p. 607; 同上 (1988) p. 754.
- 4) R. Shimokawa and Y. Hayashi: "Characterization of high-efficiency cast-Si solar cell wafers by MBIC measurement," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27** (1988) 751-758.