

「物性なんでも Q&A」第 6 回

ZnO の物性

佐藤勝昭 東京農工大学／科学技術振興機構

このコーナーでは、小生のホームページの「物性なんでも Q&A」コーナーに寄せられた質問と回答の中から、結晶工学関係者にご関心のありそうなものをピックアップしてご紹介しています。ここでは第6回として、酸化亜鉛に関する質問をご紹介します。一部については、やりとりを省略しています。

分類	番号	質問内容	所属
光物性	321	ZnO のフォトルミネッセンス	大学院修士学生
光物性	335	ZnO の赤外吸収	企業
光物性	909	ポーラス ZnO の発光	大学院修士学生
電気特性	1001	ZnO 透明導電膜について	大学院修士学生
圧電性	329	ZnO の圧電性について	大学院修士学生
電気特性	709	なぜ ZnO は n 型で、NiO は p 型か	大学生

321. ZnO のフォトルミネッセンス

Date: Sun, 1 Feb 2004 13:50:03 +0900

Q: 佐藤先生、こんにちは。S 大学修士学生 H と申します。

私は、修士のテーマとして、フォトルミネッセンス測定をすることになりました。材料は ZnO バルク焼結体について行なっています。現在フォトルミネッセンス測定の詳しい解析が出来ずに困っています。

バンド端近くに、ZnO 不純物無添加試料では酸素空孔によるものと思われる、ブロードの発光を確認しています。Al₂O₃ 添加(3,5,10wt%)で、ブロードのスペクトル、空孔による発光が無添加試料よりもかなり大きく出ました。Al が亜鉛位置を置換して、ドナー準位を形成、酸素空孔は、深いドナー準位を形成していると言われていますが、キャリア(電子)の増大、このキャリアが光励起によって遷移し、発光に関与するのでしょうか。発光強度が大きくなる理由が良くわからないでいます。

また、束縛励起子はフォノンを放出する過程フォノンレプリカをもつのでしょうか。(測定温度 77K) 酸化亜鉛の場合、ドナー準位に束縛された励起子発光をとらえていると私は考えているのですが考察に苦しんでいる状況です。幾分、参考になるものが少なく、もし良い参考書があれば教えていただきたいと思います。よろしく御願います。

Date: Sun, 01 Feb 2004 20:47:04 +0900

A: H 君、佐藤勝昭です。ZnO の発光についてのお尋ねですが、発光のメカニズムは必ずしも明らかになっていないようです。Y.G. Wang et al., J.Cryst. Growth **259** (2003)335-342 によると、MBE で成膜した ZnO 薄膜の発光は、NBE(near band-edge emission)発光 (3.3eV 付近)と、DLE(deep level emission)のブロード発光(1.8eV, 2.3-2.4eV) からなります。

NBE は自由励起子発光、DLE は欠陥に関連した発光にアサインされています。NBE は 900°C 1 時間半のアニールによってエンハンスされ、さらにアニールを続けると NBE 発光が弱くなるということが書かれています。DLE のオレンジ発光(1.85eV)はアニールによって減少するが、緑色発光(2.3-2.4eV)はアニールでエンハンスするということです。この緑色発光帯のメカニズムが酸素空孔によるか亜鉛空孔によるか、あるいは、両空孔が関与するかについては論争があり、決着が付いていないようです。この論文では、アニールによって発光が強くなる理由について、非発光中心の密度が減少したことによると述べています。

あなたの試料は、バルク焼結体なので、MBE 薄膜に比べ、欠陥が多いものと考えられます。あなたのおっしゃる「バンド端近くの酸素空孔によるものと思われるブロードの発光」のエネルギー位置はどのあたりですか。「酸素空孔による」ということは、上の論文の NBE 発光ではなく DLE 発光なののでしょうか。あなたの試料では、Al₂O₃ を添加することによるキャリア密度の増大が発光の増大の原因ではないかと考えておられるようですが、フォトルミネッセンス(PL)においては、自由キャリアの励起が発光に結びつくことはありません。もし、Zn 空孔が非発光再結合に関与しているならば、Al が Zn を置換することによって、非発光再結合が減少して、よく光るようになったと考えられませんか。

次に、束縛励起子発光ですが、どのエネルギー位置にでる発光を指しているのですか。束縛励起子発光は線幅が狭いのでフォノンレプリカが明確に分離して見えると思います。(77K では、ややブロードになるとは思いますが・・・) いずれにせよ、データをお見せ頂かないと、判断のしようがありません。スペクトルのデータを jpg ファイルなどの電子ファ

イルでお送り下さい。

Date: Tue, 3 Feb 2004 20:30:11 +0900

Q2: 夜分すいません、S 大学 H です。

丁寧なご指導ありがとうございます。大変参考になりました。おっしゃるとおり、空孔による深い準位による発光をとらえたものであるとおもいます。前日、先生の HP を拝見いたしました。やはり、自分のデータについては、指導教官との話し合うべきものと私自身も思いました。お恥ずかしい次第です。

しかし疑問は尽きないもので、勉強不足を露呈するものですが再度、質問を2, 3さて頂きたいと思います。

1. 空孔はどのような発光過程を持つのでしょうか。例えば酸素空孔であれば、酸素が抜けドナーの振る舞いをしてることが予測できますが、深い準位を形成すると、この準位に励起子が束縛されて、発光が起こるのでしょうか。
2. バンド端の発光についてですが、先生から頂いた論文では、室温での測定でしたが、なぜ、自由励起子は室温でも存在できるのでしょうか。自由励起子は、並進による運動エネルギーを持つと言われていますが、そのために、室温でも存在できるのでしょうか。
3. 最後に、PL スペクトルにおいて測定温度が低温から高温に変化するにつれて、スペクトルが低エネルギー側にシフトしますが、その理由がよく分かりません。

お忙しいところ申し訳御座いません、ご指導よろしく御願ひ致します。

Date: Tue, 3 Feb 2004 23:06:51 +0900

A2: S 大学 H 様

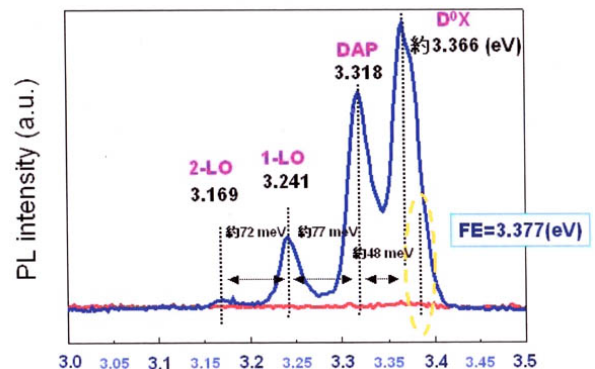
1. (空孔の発光過程) あなたが観測したブロードな発光は励起子発光ではありません。DLE は DAP(donor-acceptor pair)発光ではないかと存じます。この場合、Zn を置換した Alドナーに捉えられた電子と Zn 空孔のアクセプタに捕まったホールとの発光遷移が考えられます。あるいは酸素空孔(ドナー)に捕まった電子と、亜鉛空孔(アクセプタ)に捉えられたホールの再結合かもしれません。DAP 発光であれば、PL スペクトルの励起強度依存性をとると、発光ピークの高エネルギーシフト(blue shift)が起きます。いっぽう、時間分解スペクトルをとると、励起終了後時間とともに発光ピークは低エネルギーへシフトします。
2. (自由励起子の室温での存在) ZnO の励起子束縛エネルギーは 60meV もあります。室温の $kT=25\text{meV}$ なので、室温でも電子とホールの束縛は解けず、自由励起子は解離しないのです。大きな束縛エネルギーは大きな有効質量と小さな比誘電率のせいです。
3. (スペクトルの温度シフト) 一般に、半導体のバンドギャップは温度を上昇すると小さくなります。従って、半導体の発光も、バンド間発光も、励起子発光も、バンド束縛準位間発光も、DAP 発光も、バンドギャップが小さくなれば、低エネルギー側にシフトします。

Date: Sun, 22 Feb 2004 21:14:07 +0900

Q3: S 大学 H といいいます。

酸化亜鉛のバンド端近くのスペクトルの解析についての質問です。私は、DAP(ドナーアクセプター対)発光であると考えているのですが、右から二番目の大きなピークの解釈が出来ずにこまっています。もし、DAP であれば、アクセプターとなる不純物をドーピングしていなければ、起こらないのでしょうか。

フォノン線と考えられるピークがあることから DAP 発光考えました無添加の ZnO 焼結体です。(24 時間 1000°C で焼成したものを Zn によって熱処理したもの) 自分での解釈を試みましたが、理解に苦しんでいます。何度も先生にご質問をさせていただき恐縮ですが、よろしく御願ひします。



Date: Mon, 23 Feb 2004 23:39:16 +0900

A3: H 様、佐藤勝昭です。添付の図を見ました。まず、フォノンレプリカのアサインメントについて考察しました。

ZnO のフォノンのエネルギーは N. Ashkenov et al.: JAP 93 (2003) 126 に出ています。それによれば、LO phonon のエネルギーは、E1 590cm^{-1} (=73meV), A1 574cm^{-1} (71meV) となっています。あなたは、3.318eV を DAP と見ましたが、私は、自由励起子 FE を 3.391eV として、3.318eV を FE-1LO, 3.241eV を FE-2LO, 3.169eV を FE-3LO と見るのが自然でしょう。そうすると、3.366eV のピークは FE から 25meV の差であり、浅いドナーに束縛された束縛励起子 D^0X と見てよいでしょう。古い論文ですが、ZnO 結晶の PL については、S. Miyamoto: JJAP 17 (1978) 1129 を参照して下さい。論文によれば、1.5K では束縛励起子線 I(369nm=3.36eV)とその LO フォノンレプリカ(I-LO, I-2LO...)が支配的であると書かれています。また、374.6nm(3.31eV)と 383nm(3.23eV)にはそれぞれ Ex-1LO, Ex-2LO のフォノンレプリカも同時に見えていると書かれています。Ex-1LO 発光線の強度は温度を上げると弱くなり、Ex-2LO の相対強度が上が

ってくると書かれています。フォノンレプリカに関する限り、H 様の図は、宮本氏のデータの 120K のグラフに似ていませぬ。参考になれば幸いです。

335. ZnO の赤外吸収

Date: Tue, 9 Mar 2004 11:29:33 +0900

Q1: 佐藤勝昭様、はじめまして。

酸化亜鉛の光学物性についての疑問を解決すべくサイトを検索中、佐藤様研の HP を拝見し質問させていただきま
す。大変基本的な質問で恐縮ですが、酸化亜鉛の赤外域(特に10 μm 前後)の吸収率が掲載されている文献・本等
御存知ありませんでしょうか？宜しくご教授お願い致します。(I 社 T)

Date: Wed, 10 Mar 2004 00:13:51 +0900

A1: T 様、佐藤勝昭です。メールありがとうございます。

Palik「Handbook of Optical Constants of Solids I, II」や工藤恵栄「物性基礎図表」などを見ましたが、載っておりませ
んでした。Landolt Boernstein New Series の Vol III-17b あたりに出ているのではないかと思うのですが、図書館に行く
時間がなく調べておりません。

ストイキオメトリ組成の絶縁性 ZnO であれば、バンドギャップ以下の光子エネルギーに対応する波長の吸収はほとん
どなく、赤外部にある LO フォノンによる吸収のみが見られるはずですが、ZnO の LO フォノンのエネルギーは
590 cm^{-1} (16.9 μm), 574 cm^{-1} (17.4 μm)なので、10 μm 付近の吸収係数はほとんどゼロでしょう。

(追記: 後で調べたところ下にありますようにゼロではありません)

しかし、ご存じのように ZnO はストイキオメトリからずらすことで透明導電膜として使える材料です。これは、酸素欠陥
がドナーとなって自由電子が伝導帯に供給され、フェルミ準位が上がり縮退半導体になるためですが、高密度の自由
電子があると、free carrier absorption が起き、波長の増大とともに急激に増加する吸収をもたらします。従って、10 μm
における吸収係数は、自由電子密度に依存するのです。この場合は、ハンドブックなどには載っていないので、太陽
電池の透明電極の開発などの論文を探せば、出ていると存じます。お役に立たず申しわけありません。

Date: Wed, 10 Mar 2004 08:24:17 +0900

Q2: 佐藤勝昭 先生、お世話になっております。

貴重なご教授有難う御座いました。大変参考になりました。早速、本や論文あたってみます。今後もお尋ねする機会
があると思います。その際は、宜しくお願い致します。

絶縁性 ZnO の LO フォノンのエネルギーをご教授頂き有難うございました。しかしながら、恥ずかしいことに、ZnO の
LO フォノンのエネルギー:590 cm^{-1} (16.9 μm), 574 cm^{-1} (17.4 μm) がどのような参考書に掲載されているのか知りません。
お忙しい中申し訳御座いませんが、本名等ご教授頂けませんでしょうか？宜しくお願い致します。

Date: Wed, 10 Mar 2004 17:42:41 +0900

A2: T 様、佐藤勝昭です。

ZnO のフォノンのエネルギーの参考文献ですが、新しいものとしては、
N.Ashkenov et al., J.Appl. Phys. 93 (2003) 126.
があります。これには、過去の文献値も Table の形でリストされていますので便利かと存じます。

Date: Wed, 10 Mar 2004 13:05:59 +0900

A3: T 様、佐藤勝昭です。

昨夜は、家からメールしたので、手元に資料
がなく失礼しました。

本日、図書館で、Landolt-Boernstein III 17b
(p356, Fig.73, Fig.74)を調べた結果、10 μm 付
近にもフォノンの吸収があり、10 μm における吸
収係数は、電気ベクトル E が c 軸に垂直な偏
光についても、平行である偏光についても、120
 cm^{-1} 程度であることがわかりました。ただし、こ
れは、あくまで、絶縁性の ZnO の場合で、導電
性の場合には、free carrier absorption がありま
すので、注意が必要です。

Date: Wed, 10 Mar 2004 13:36:33 +0900

AA: 佐藤勝昭 先生、お世話になっておりま
す。

わざわざお調べ頂き、有難う御座いました。大
変参考になりました。今後とも宜しくお願い致

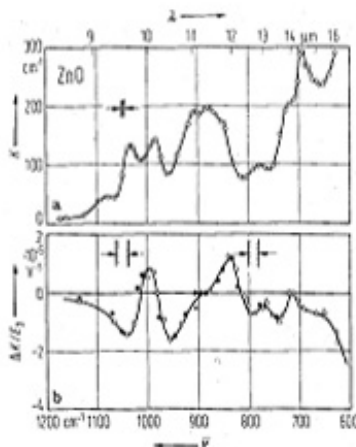


Fig. 73. ZnO. (a) Absorption coefficient vs. wavenumber for light polarized E \perp c in ZnO:Li. (b) Electroabsorption (change in K over electric field E $_0$) vs. wavenumber. RT. The positive external electric field E $_0$ is oriented in positive c-direction. Different symbols correspond to different sample thicknesses [69L1].

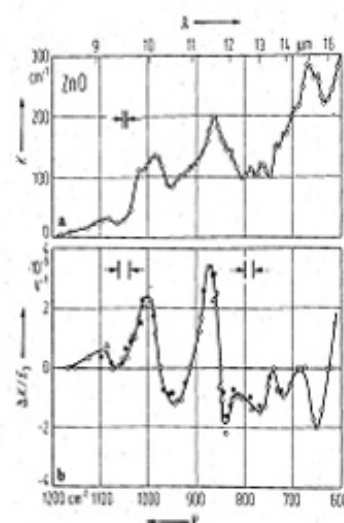


Fig. 74. ZnO. The same as in Fig. 73, for E \parallel c.

します。

909. ポーラス ZnO の発光

Date: Sat, 20 Jan 2007 05:34:06 +0900 (JST)

Q: はじめまして. N大学 M2 のKと申します。ホームページを拝見しまして, 質問させていただきます。
現在, ZnO のポーラス膜を作成して発光を調べているのですが, 欠陥発光のほかにも励起子と思われる辺りの波長に、ブロードな発光が観測されます。励起子だとすれば、自由でも束縛でもブロードな発光は観測されないような気がするのですが、理由がつかめません。理由はなんだと思われませんか? ご返答、よろしくお願ひします。

Date: Sat, 20 Jan 2007 18:43:02 +0900

A: K様、佐藤勝昭です。ポーラス膜はどのように作製しておられるのでしょうか?
シリコンでは陽極酸化で作製する際に、SiO₂ などのガラス状物質ができて Si の周りを覆うので、そのガラス状物質からのブロードな発光が加わってきます。また、シリコン自身の粒径に分布がありますから、量子サイズ効果による電子準位もばらつきのあるものとなりブロードになります。あなたの作製された ZnO の場合に、量子閉じ込め効果はどうなっているのでしょうか? サイズ分布はないのでしょうか?

Date: Sat, 20 Jan 2007 23:02:08 +0900 (JST)

Q2: 佐藤 様

K です。早速のご返信ありがとうございます。ZnO は電気化学的に作成しています。ポーラスは 10~50 nm 程度であり、多少の分布はありますが、量子サイズ効果があるほど小さくはないと思います。

Date: Sun, 21 Jan 2007 10:08:19 +0900

A2: K 君、佐藤勝昭です。

電気化学的というのは、PS (polystyrene) などを分散した ITO 等に Zn(NO₃)₂ 水溶液を電気分解して堆積するのではないかと思います。この方法で作製した ZnO のナノ粒子、ナノロッドは、励起子発光が見られるような結晶性のよいものを得るのはむずかしいのではないかと存じます。

気相成長法で ZnO または ZnCO₃ 微粒子上に作製した ZnO ナノロッドの発光スペクトルもブロードなスペクトルを示しており、490nm にピークをもつグリーン色の発光帯は欠陥によるもの、420nm のショルダーは ZnO_x によるもの、380nm のピークはバンドエッジからの発光とされています。

ZnO の励起子のボーア半径は数 nm でしょうから励起子の閉じ込め効果は無いでしょうが、ZnO のバンドギャップのサイズ効果は、15nm~20nm 付近で起きると考えられますから、バンドエッジ発光が粒径のばらつきの影響を受けると考えられます。

Date: Sun, 21 Jan 2007 17:21:38 +0900 (JST)

Q3: 佐藤 様、

作成方法についてはその通りです。大変勉強になるご返答ありがとうございます。
よろしければ、このデータが載っている論文のタイトル等をご紹介いただけませんか?

Date: Sun, 21 Jan 2007 18:05:46 +0900

A3: K 君、佐藤勝昭です。論文は、W.D. Yu et al. Self-catalytic synthesis and photoluminescence of ZnO nanostructures on ZnO nanocrystal substrates; Appl. Phys. Lett. **84**, [14] 2658-2660 (2004) です。

Date: Wed, 24 Jan 2007 01:46:44 +0900 (JST)

AA: 佐藤先生、N 大、K です。

ご紹介いただきました論文を手に入れ、確認いたしました。大変参考になるお話をありがとうございました。

1001. ZnO 透明導電膜について

Date: 2007/09/06 13:43

Q: 佐藤先生

以前もメールさせていただいた K 大学大学院 M2 の S と申します。再び質問させていただきたいと思いメール差し上げています。今も酸化亜鉛の成膜を行い、透明導電膜の研究をやっているのですが論文などを調べても詳しい内容が分からないことがありましたので質問させていただきました。

酸化亜鉛(ZnO)にアルミニウム(Al)やガリウム(Ga)をドーブして低抵抗な透明導電膜を作製する研究は非常によく行われているのですが、なぜ Al や Ga などの III 族の元素をドーブすれば抵抗が低くなるのかいまいち納得できる解説が

見つかりません。よろしければ佐藤先生のアドバイスをいただきたいと考えています。よろしくお願いたします。

Date: 2007/09/06 21:57

A: S 君、佐藤勝昭です。S 君は、半導体の不純物ドーピングは勉強したことがありますよね。ZnO の亜鉛の格子位置を Al が置換したとしますと、Zn は 2 属、Al は 3 属なので Al の原子核はまわりの Zn に比べて +1 価だけ電荷が大きいのので、このまわりに電子が引きつけられて、中性ドナーとなります。室温ではドナーに捕まっていた電子が伝導帯に供給されて、低抵抗になるのです。

Date: 2007/09/07 11:05

Q2: 佐藤先生、丁寧な回答ありがとうございました。続けて質問なのですが、電子が伝導帯に供給されると低抵抗にはなると思いますが、キャリア密度が高くなりすぎると薄膜が着色してしまうと思うのですが、そのような問題は大丈夫なのでしょうか。一般的にキャリア密度が $n=10^{21} \text{ cm}^{-3}$ を超えると色がついてしまい、あまりにキャリア密度が上昇すると透明導電膜としては使用できないと思うのですが。

透明で低抵抗を実現するには、やはり移動度を高くするという発想が大切になるのですか。

Date: 2007/09/07 15:22

A2: S 君、佐藤勝昭です。キャリアをドーピングすることによる着色は、自由キャリア吸収によるもので、キャリア密度が高いほど赤外に向かって λ^2 で増大するような吸収を作ります。導電率 σ はキャリア密度 n と移動度 μ を使って

$$\sigma = ne\mu$$

と表されるので、自由キャリア吸収を増やさずに導電率を高める(=低抵抗化する)には移動度 μ を大きくする必要があります。そのためには、ZnO の結晶性を高くする必要があります。

Date: 2007/09/07 16:01

Q3: 佐藤先生、S です。お忙しい中、返信ありがとうございます。ZnO を透明導電膜として使用するには、 10^{21} cm^{-3} オーダ程度のキャリア密度と低抵抗率が必須条件であるので、そのためには $\sigma = en\mu$ から移動度 μ を高くしないといけなことは分かりました。ただ、移動度 μ というのは結晶化の度合いに関係するのでしょうか。我々のコンセプトとして低温成膜(100 度以下)で透明導電膜を実現したいのですが、低温成膜だと結晶化があまり進まないで移動度の向上は難しくなってくるのでしょうか。

Date: 2007/09/07 20:29

A3: S 君、佐藤勝昭です。

一般論として 100°C という低温では、基板上を原子が拡散するのに十分なエネルギーが得られないのでグレインサイズが小さく、欠陥の多い膜になると思います。しかし、あなたの指導教員が、その温度でやれというのであれば、きっと成膜技術に自信がおありなのでしょうから、私がとやかく言えるものではありません。指導教員と十分に話し合ってください。

Date: 2007/09/10 10:10

AA: 佐藤先生、S です。返信が遅れて申し訳ありません。

我々の考えてとしては 100 度以下で結晶化させようという考え方は少ないです。しかし、完全に結晶化させずとも透明で低抵抗な膜が得られれば、透明導電膜としての機能は果たせるのではないかと考えているところです。しかし結晶化と移動度 μ が大きく関係してくるとなれば他の方法も考えなければいけないと考えています。

いろいろ参考になりました。ありがとうございました。

329. ZnO の圧電性について

Date: Tue, 17 Feb 2004 23:06:11 +0900

Q: 突然のメール失礼します。佐藤先生のホームページを拝見してメールをさせて頂きました。

私は K 大大学院の M と申します。私は酸化亜鉛 ZnO の光物性の研究をしているのですが、ZnO は c 軸配向すると、なぜ極性を帯びて圧電性を持つのでしょうか？

いろいろ手を使って調べたのですが、わかりません。宜しければ、教えてください。

Date: Fri, 20 Feb 2004 12:59:37 +0900

A2: M 様、佐藤勝昭です。

ZnOは六方晶系、空間群は $C_{6v}^4(C6mc)$ です。結晶工学ハンドブック(共立 1971)第5章 p1217にある対称性とテンソル要素の表によると、六方晶 $C6v$ においては、3つの独立な圧電パラメータ($d_{31}=d_{32}$, d_{33} , $d_{15}=d_{24}$)がゼロにならないということがわかっています。従って、ウルツ鉱構造の ZnO 自身は、圧電性になる能力をもっているのです。

次に Wyckoff "Crystal Structures" Vol. 1, p.111 の Fig. III, 13a にある ZnO の結晶構造を見ると、c軸に沿って、Zn 面 (000;1/3 2/3 1/2)と O 面(00u;1/3 2/3 u+1/2)があり極性のある結晶であることがわかります(u=0.345)。このため、(001)面に垂直に(c軸方向に)歪み加わると電気分極が生じることが理解できるでしょう。

同じウルツ鉱構造なのになぜ ZnS の圧電定数は小さく、ZnO の圧電定数が大きいかという点ですが、第1原理計算によれば、「クランプされたイオン」と「内部ひずみ」という2つの競合するメカニズムがあって、ZnO では両メカニズムの打ち消し合いが最も弱く圧電性が大きい、ZnS では打ち消しが強いため、圧電性が出ないということです。引用されている Phys. Rev. B 50, 10715 (1994) の論文を読んで下さい。

Date: Sun, 7 Mar 2004 21:58:57 +0900

AA: 佐藤先生へ、先日先生にメールをした M です。先生のご意見ありがとうございました。非常に参考になりました。

709. なぜ ZnO は n 型で、NiO は p 型か

Date: Fri, 30 Dec 2005 21:07:57 +0900

Q: はじめまして、R 大学三年の S です。半導体の ZnO は n 形で NiO は p 形の伝導を示すのかをおしえてください。

Date: Sun, 01 Jan 2006 10:36:05 +0900

A: S 君、佐藤勝昭です。CdTe をのぞく多くの II-VI 族化合物半導体は、不純物の添加をしないとき n 形の電気伝導を示します。その理由はかならずしも明確になっていません。

ZnO の場合、(1)アクセプタ不純物の固溶性の低さ、(2)アクセプタのイオン化エネルギーの大きさ、(3)アクセプタを導入すると同時にドナーが導入されることによる自己補償機構などが原因であろうと考えられています。最近では MOCVD により窒素添加で低抵抗の p 形が実現しています。しかし、導入された窒素の濃度($\sim 10^{21} \text{cm}^{-3}$)に比べホール濃度が低い($< 10^{17}$)ということから、(3)のメカニズムが有力であろうと考えられています。

X. Li, S.E. Asher, B.M. Keyes, H.R. Moutinho, J. Luther, and T.J. Coutts: p-Type ZnO Thin Films Grown by MOCVD; 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition, Lake Buena Vista, Florida, January 3-7, 2005 が参考になるでしょう。

NiO は反強磁性半導体で、バンドギャップは Charge-transfer 型です。すなわち、伝導帯は 3d 軌道からなり、価電子帯は O の 2p 軌道からなっています。3d 電子帯は狭いバンドなので有効質量 m^* が大きいため移動度 $\mu = e \tau / m^*$ が小さく電気伝導に寄与しません。電気伝導は主として価電子帯のホールによります。リチウム Li を添加するとアクセプタになります。しかし伝導は普通の拡散型ではなく、ポーラロンによるホッピングとされています。

佐藤勝昭：「半導体物性なんでも Q&A - 対話から生まれた半導体教本 -」 (講談社サイエンティフィック ; A5 判 224 頁) 出版について

筆者が運営しているホームページ「物性なんでも物性 Q&A」に寄せられた多くのご質問と、それに対する回答のうち、半導体に関するものを収録・編集し講談社サイエンティフィック社から「半導体物性なんでも Q&A - 対話から生まれた半導体教本 -」として出版します。

紙面の都合上、一部編集して掲載いたします。また、ページ数の都合上、やむを得ず掲載できない場合がございます。個人情報につきましては、ホームページ同様、S 大学 Y さん、S 社 Y さんと匿名性の保持に努める所存です。ご質問をいただいた際のメールアドレスへのご連絡に努めましたが、不通状態の件数が多々見られ、やむを得ずホームページにてご連絡申し上げております。

URL=http://home.sato-gallery.com/handoutai_nandemo_onegai.html

をご覧頂き、掲載に不都合およびご異論がございます方は、2009 年 9 月 30 日までに佐藤にご連絡をいただきたいと存じます。ご連絡をいただけなかった場合は、掲載の件をご了承いただいたものと解釈させていただきます。作業を進めさせていただきます。

連絡先：独立行政法人 科学技術振興機構(JST) 戦略的創造事業本部

〒102-0075 東京都千代田区三番町 5 三番町ビル

(2009 年 3 月 23 日受理)