

دراسة الخواص الكهربائية للمفرق الهجيني (ZnO/p-Si) والمحضر بطريقة الرش الكيميائي الحراري

عبد المجيد عيادة إبراهيم¹، راند عبد الوهاب إسماعيل²، عناد صالح إبراهيم¹، عصام محمد إبراهيم³¹قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق²قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق³قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بغداد، بغداد، العراق

المخلص

تضمن البحث تحضير المفرق الهجين (ZnO/p-Si) بطريقة الرش الكيميائي الحراري (CSP) من خلال محلول اسيتات الخارصين (Zn(CH₃COO)₂·2H₂O) المائية بتركيز (0.2M) وترسيبها على قواعد من السيليكون (p-type) بأبعاد (1cmX1cm) ذات التوجه البلوري (111) عند درجة حرارة (C° 350) ودراسة خواصها الكهربائية والكهروضوئية مثل خواص (تيار-جهد) (I-V) في حالة الظلام والإضاءة، وخواص (سعة-جهد) (C-V)، وكذلك حساب عامل المثالية (β)، وعامل التقويم (F)، ونسبة تيار الإضاءة الى تيار الظلام، وحساب جهد البناء الداخلي (V_{bi}).

المقدمة والجانب النظري:

الواضة والتي تتغلب عليها آلية إعادة الالتحام وفق العلاقة [10]:

$$I \propto \exp\left(\frac{qV}{\beta k_B T}\right) \dots \dots \dots (1)$$
 حيث ان (q): شحنة الالكترون، و (V): فولتية الانحياز، و (k_B): ثابت بولتزمان، و (T): درجة الحرارة المطلقة، و (β): عامل المثالية (ideality factor).

والثانية عند الفولتيات العالية والتي تتغلب عليها آلية الإنتفاق عبر المفرق [10]:

$$A \propto \exp(AV) \exp(BV) \dots \dots \dots (2)$$
 حيث ان (B و A) ثابتان لا يعتمدان على الفولتية ودرجة الحرارة. ان ما يحدد كفاءة المفرق هو عامل المثالية، وكلما كانت قيمته اقرب الى الواحد يعني الحصول على مفرق ذو مواصفات اقرب للمثالية، وقد تم حساب عامل المثالية للمفرق المحضر بطريقة الترسيب الحراري من خلال ترسيب أغشية ZnO النانوية على رقائق من السلكون المسامي نوع (p-type) ذو اتجاهية (100) وكان عامل المثالية (β=2.6) [11]، ومن خصائص (سعة-جهد) يمكن حساب جهد البناء الداخلي من خلال رسم مقلوب مربع السعة (سعة المتسعة المرافقة لوحدة المساحة المصاحبة لإنتقال الشحنات) بدلالة فولتية الانحياز من تقاطع (1/C²=0) مع محور الفولتية الموجبة، وكذلك يمكن الاستدلال على نوع المفرق من حيث التركيب [12].

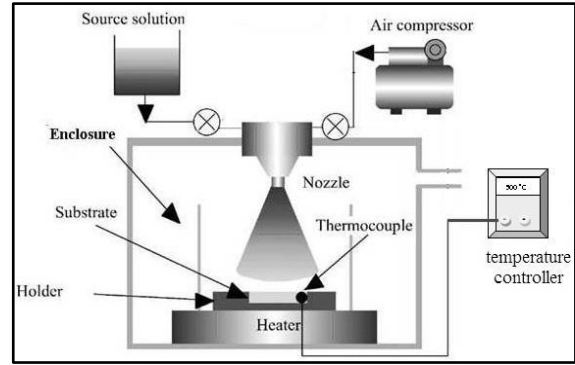
ان تنوع البحوث الخاصة بدراسة الخواص الفيزيائية لهذه الاغشية، ولتحضير اغشية رقيقة ومفارق ذات مواصفات عالية تعددت طرائق تحضيرها، وان استخدام طريقة دون أخرى يعتمد على عدة عوامل منها: (نوع المادة المستخدمة، ومجال استخدامها، وكلفة التحضير)، وبصورة عامة فان المفارق الهجينة تحضر بطريقة التنمية الفوقية (Epitaxial growth)، وفي بحثنا تم استخدام طريقة الرش الكيميائي الحراري (CSP) لكونها طريقة ذات كلفة اقتصادية قليلة، وان الاغشية المحضرة بهذه الطريقة هي اغشية جيدة، وتدخل في التطبيقات التكنولوجية والصناعية [13].

تعد اكاسيد التوصيل الشفافة (Transparent conductive oxide) من اهم اشباه الموصلات التي هي عبارة عن اشباه موصلات مركبة مكونة من معدن متحد مع اوكسجين مثل (ZnO) و (In₂O₃) حيث تجمع صفتين مميزتين من اهم الصفات التي يمكن ان يستفاد منها في تصنيع النماط الالكترونية، وهي ارتفاع توصيليتها، ونفاذيتها البصرية الكبيرة [1]، وقد اهتم الباحثون بأوكسيد الخارصين لاسباب عديدة منها: (وفرة مركباته في الطبيعة، وكونه غير سام [2]، والمدى الواسع لمقاومته النوعية والتي تمتد من (10⁻⁴-10⁹Ω/cm) تبعاً لظروف التحضير [3]) فمن خلال دراسة الخواص الكهربائية لأغشية ZnO المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري CSP وجد انه يمتلك (ρ=66Ω.cm)، و تحركية (μ=0.1cm²/V.sec)، وتركيز للحاملات (n=3.2X10¹⁷/cm³) [4].

ان واحد من اهم تطبيقات اشباه الموصلات هي المفارق الهجينة التي اقترحها ودرس أساسها النظري العالم ويلم شوكلي (William Shokly) عام 1951م [5]، وأول من تمكن من تصنيع مفرق هجين هو اندرسون (Anderson) عام 1960م [6] من خلال التوصيل بين شبه موصلين مختلفين في فجوة الطاقة من اجل تحسين عمل نماط اشباه الموصلات من خلال زيادة التحويل لنماط المفرق الهجين على المادة الأساس تكون ذات فجوة طاقة صغيرة، ومادة النافذة تكون ذات فجوة طاقة كبيرة قدر الإمكان [7]، ونظراً للتطور الذي أحدثته تقنية المفارق الهجينة في مجال اشباه الموصلات فقد استخدمت في صناعة الكواشف الضوئية، وليزرات اشباه الموصلات، والترانزستور [8]، وفي الخلايا الشمسية ذات الكفاءة العالية [9] ولأجل التعرف على خصائص المفرق الهجين ومعرفة مدى ملائمة للأغراض العملية تدرس كل من خصائص (تيار - جهد) والتي توضح آلية وخصائص التوصيل الكهربائي في المفرق، بالاعتماد على نوع فولتية الانحياز ففي حالة الانحياز الامامي تظهر منطقتين مميزتين للتيار الأولى عند الفولتيات

الجانب العملي والحسابات

تم قياس (4.3898gm) باستخدام ميزان رقمي نوع (MatterAE-) ذو الحساسية (10^{-4} gm) من مادة اسيتات الخارصين المائية ذات الوزن الجزيئي (219.497 gm/mol)، واذابتها في (100ml) ماء مقطر للحصول على محلول اسيتات الخارصين بتركيز (0.2 M)، وبعد ترسيبها على الزجاج باستخدام المنظومة المبينة في الشكل (1).



شكل (1) منظومة الرش (CSP)

ودراسة خواصها التركيبية والبصرية تم فحص تأثير هول (Hall effect) لدراسة خواص الغشاء الكهربائية والتي من خلالها يتم معرفة مدى ملائمتها في صناعة النبايط الالكترونية، وقد اعتمدت الطريقة الحديثة ذات المسجات الأربعة والمسماة بطريقة (Van Der Pauw) [14]، و استخدمت نفس المنظومة المستخدمة في الشكل (1) لتحضير المفرق الهجين على قواعد من السيليكون (p-type) ذات التوجه البلوري (111) وبالابعاد (1cmX1cm) بعد تهيئتها من خلال غمرها بحامض الهيدروفلوريك HF بتركيز (10%) لمدة دقيقة واحدة للتخلص من طبقة الاوكسيد والشوائب على سطحها ثم توضع في الماء المقطر والكحول لأزالة بقايا الحامض وتترك لتجف، وبعد ذلك تجري عملية ترسيب أوكسيد الخارصين على القواعد السيليكونية عند درجة حرارة (350 C°) وبزمن رش (5 sec) وبزمن (50 sec) بين رشة وأخرى للحفاظ على الاستقرار الحراري للقاعدة السيليكونية، ويكون

الرش من ارتفاع (29 cm) ويستأنف الرش لعدة مرات للحصول على السمك المطلوب، وبعد الانتهاء من عملية الرش تترك العينات الى ان تبرد تماماً لغرض تبخير الماء واتمام عملية الانماء.

النتائج والمناقشة

أولاً: تأثير هول Hall effect

لدراسة مدى ملائمة استخدام اغشية شبه الموصل (ZnO) في صناعة المفارق الهجينة تم قياس تأثير هول لهذه الاغشية وكانت النتائج كما مبينة في الجدول (1).

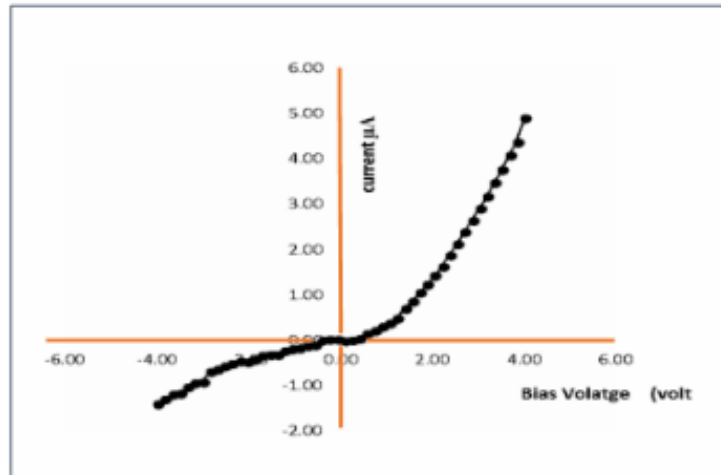
جدول (1) نتائج قياس تأثير هول

Measurments	ZnO pure
Bulk construction ($/\text{cm}^3$)	-8.401×10^{17}
Sheet construction ($/\text{cm}^2$)	-1.008×10^{13}
Mobility (cm^2/v_s)	3.277×10^1
Conductivity ($1/\Omega.\text{cm}$)	4.41×10^2
Resitivity ($\Omega.\text{cm}$)	2.268×10^1
Avg. Hall coefficient	-7.431

والذي يبين بان أغشية (ZnO) تمتلك توصيلية كهربائية جيدة وان حاملات الشحنة الأغلبية هي الاكترونات، أي ان أغشية أوكسيد الخارصين النقية هي من النوع (n-type) من خلال الإشارة السالبة لمعامل هول،

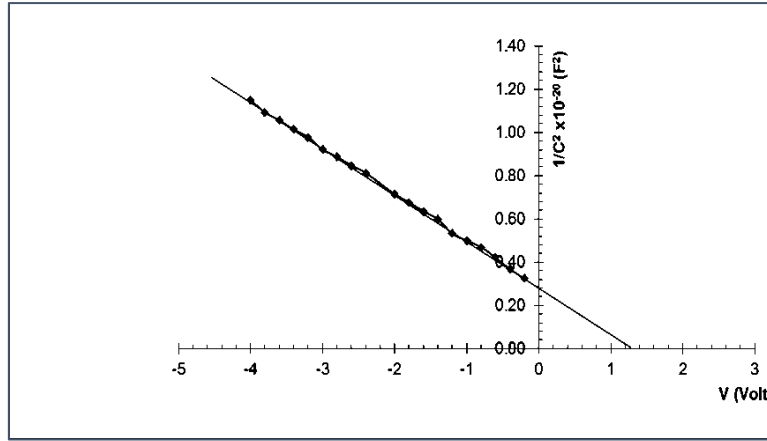
ثانياً: خصائص (I-V) للمفراق الهجين في حالة الظلام

يبين الشكل (2) خصائص (تيار - جهد) في حالة الظلام للمفراق الهجين (ZnO/p-Si) والذي يمثل سلوك التيار مع الانحياز الامامي من (0-4 V)، والانحياز العكسي من (V -4) -0) اذ نلاحظ ومن خلال سلوك التيار ان المفراق الهجين المصنع من النوع الغير متماثل (تصنف المفارق الهجينة على أساس التوصيلية على جانبي المفراق) حيث يزداد التيار زيادة سريعة بزيادة الفولتية في حالة الانحياز الامامي، اما في حالة الانحياز العكسي فيزداد زيادة تدريجية أي يعطي فولتية انهيار تدريجية (soft breakdown) وهذا سلوك ثابت للمفارق غير المتماثلة [15].



شكل (2) خصائص (I-V) في حالة الظلام

ثالثاً: خصائص (C-V) للمفرق الهجين تم من خلال دراسة خصائص (C-V) حساب جهد البناء الداخلي (V_{bi}) وتحديد نوع المفرق فيما اذا كان حاداً (Abrupt) او متدرجاً (Graded) [حيث تصنف المفرق الهجينة حسب الانتقال بين فجوة الطاقة لشبه الى الاخر] فمن خلال الشكل (3) تظهر العلاقة بين

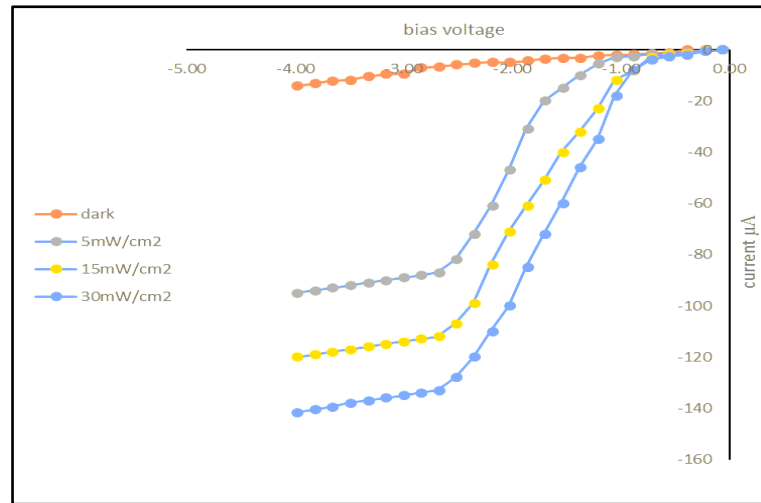


شكل (3) علاقة مقلوب مربع السعة مع فولتية الانحياز

رابعاً: خصائص (I-V) في حالة الإضاءة يمثل الشكل (4) قيم تيار الإضاءة مع جهد الانحياز العكسي (-) 0- V حيث تم تعريض المفرق الهجين لعدة شهادات ضوئية

المقلوب مربع السعة ($1/C^2$) مع جهد الانحياز العكسي ($ZnO/p-Si$)، حيث كانت علاق خطية مما يعني ان نوع المفرق الهجين هو من النوع الحاد (Abrupt) وهذا يتفق مع [16]. اما جهد البناء الداخلي فقد تم تحديده من تقاطع الخط المستقيم مع محور الفولتية عند النقطة ($1/C^2 = 0$) وكانت قيمته (1.28V).

المعمول مربع السعة ($1/C^2$) مع جهد الانحياز العكسي ($ZnO/p-Si$)، حيث كانت علاق خطية مما يعني ان نوع المفرق الهجين هو من النوع الحاد (Abrupt) وهذا يتفق مع [16]. اما جهد البناء الداخلي فقد تم تحديده من تقاطع الخط المستقيم مع محور الفولتية عند النقطة ($1/C^2 = 0$) وكانت قيمته (1.28V).



شكل (4) قيم تيار الإضاءة مع جهد الانحياز العكسي

كذلك نلاحظ ان التيار الضوئي يصل الى مقدار شبه ثابت بعد فولتية الانحياز (2V)، أي ان زيادة الفولتية العكسية بعد (2V) لا تؤدي الى زيادة التيار الضوئي مما يعني استنزاف كامل الحاملات المتولدة ضوئياً، ففي فولتية الانحياز العالية (اكبر من 2V) تصبح منطقة النضوب من الاتساع ما يكفي كل ما يتولد من الحاملات الضوئية، وقيمة التيار الضوئي هذه تدعى بتيار الاشباع [17]، ولغرض دراسة الية نقل التيار في حالة الظلام والاضاءة، فقد تم رسم القيمة اللوغاريتمية للتيار الامامي مع فولتية الانحياز كما مبين في الشكل

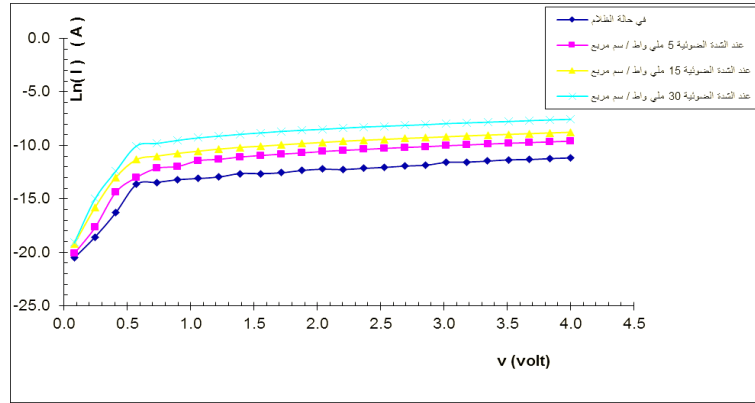
(5)، حيث يظهر ان هناك منطقتين مميزتين لجميع المنحنيات المرسومة [18] وهي:
(1) منطقة الفولتيات الواطنة اقل من (1V) والتي تهيمن عليها آلية إعادة الالتحام.
(2) منطقة الفولتيات العالية اكبر من (1V) والتي تهيمن عليها آلية الانتفاق مما سبب ظهور تيار الاشباع.

ثابت بولتزمان، (V): الفولتية المطبقة، (I_f): التيار الامامي، (I_s): تيار الاشباع.
ومن ميل المماس في الشكل (5) نلاحظ ان قيم معامل المثالية تكون اكبر من (1) كما موضح في الجدول (2)، وهذا يعزز وجود اكثر من الية لنقل التيار.

وعليه فان المفرد يعد من المفارقات ذات الالية المزدوجة لنقل التيار، وتم حساب قيم عامل المثالية (β) للمفرد الهجين من العلاقة [19]:

$$\beta = \frac{q}{k_B T} \cdot \frac{V}{\ln \frac{I_f}{I_s}} \dots \dots (3)$$

حيث ان (q): شحنة الالكترون، (T): درجة الحرارة المطلقة، (k_B):



شكل (5) القيم اللوغارتمية للتيار الامامي كدالة لفولتية الانحياز

كذلك تم حساب عامل التقويم والذي يمثل النسبة بين تيار الانحياز الامامي الى تيار الانحياز العكسي عند فولتية معينة [12]، وكما موضح في الجدول (2)، ويبين الجدول أيضا قيم نسبة تيار الإضاءة الى تيار الظلام للمفرد الهجين في حالة الانحياز العكسي.

جدول (2) قيم عامل المثالية، وعامل التقويم، ونسبة تيار الإضاءة الى تيار الظلام

Samples	Photo intensity	Ideality Fact or (β)	Rectification Factor(F)	I_{ph}/I_{dark} (Ratio)
Zno/p-Si	Dark	3.11	4.4	
	5 mW/cm ²	2.29	1.34	6.72
	15 mW/cm ²	2.10	1.19	8.49
	30 mW/cm ²	1.96	1.09	10.02

(3) ان التيار الضوئي يزداد بزيادة شدة الإضاءة اما عامل المثالية (Ideality factor(β)) فيقل بزيادة الشدة الضوئية.

الاستنتاجات

- 1) ان اغشية (ZnO) الرقيقة هي من النوع السالب (n-type).
- 2) ان المفرد الهجين (ZnO/p-Si) من النوع الحاد (Abrupt) غير المتماثل (p-n).

المصادر

- 1) B.A. Abbas, "The Effect of Annealing on The Structural and Optical Properties of (ZnO) Thin Films", M.Sc. Thesis, University of Baghdad, (2009).
- 2) S. Tewari and A. Bhattacharjee "Structural, electrical and optical studies on spray-deposited aluminium-doped ZnO thin films" Pramana – J. Phys., 76, 1, pp. 153–163 (2011).
- 3) E. Díaz, V. Pech-Rodríguez, A. Duarte-Moller, E. Orrantia-Borunda, R. Castro-Rodríguez, I. Perez-Quintana and A. Iribarren "Electrical, structural and optical properties of ZnO thin films grown by pulsed laser deposition" International Journal of Physical Sciences 6 (18), pp. 4382-4387 (2011).
- 4) A. Hadri, et.al, "Indium Doping Effect on Structural, Optical and Electrical Properties of

- Sprayed ZnO Thin Films", University Chouaib Doukkali, Faculty of Sciences, LCCM, Chemistry Department, B. P. 24000, El Jadida, Morocco, (2014).
- 5) J.Wang, Y. "Li, Rational synthesis of metal nanotubes and nanowires from lamellar structures". *Adv. Mater.*, 445-447, 15(2003).
- 6) S. M. Sze, K. K. Ng, "Physics of Semiconductor Devices", 3rd ed., *John wily and sons*, New York. (2007).
- 7) F.A. Abou-Elfotouh & M. A. AL-Massari, "Solar cells", V. 10, P.61- 68,(1983).
- 8) H. Kressel, J.K Butter, "Semiconductor Laser and Heterjunction Led's", *Academic Press, New York*, (1977).

- 9) B. Streetman, S. Banerjee, Solid State Electronic Devices, 5th ed. New jersey, (2000).
- 10) A. Yousif, "Fabrication & Characterizationm Photodetector of CdS/nanoporous Si by Spray Pyrolysis technique", Master thesis. College of Education, Tikrit University, (2011).
- 11) R. S. Sabry, "Fabrication And Study Of ZnO: Al Thinfilm Nanostructure By Spray Pyrolysis", Master Thesis. College of Science Physics Department Al-Mustansiriya University, (2013).
- 12) Hani Hadi Ahmed AL-Hadethi, " Preparation and Study Characterization of Nanostructured CdO/Si Heterojunction Detector by Using CBD Method" Ph.D. College of Education, University of Tikrit, (2012).
- 13)H. A. Macleod, "Thin Film Optical Fillers", 3rd Ed., (2001).
- 14)L. J. Van der Pauw "A method of measuring the resistivity Hall coefficient on lamellae of arbitrary shape" Philips Res. Repts. 13, 1,220-224, (1958).
- 15) M. Ortega, G. Santana, A. Morales-Acevedo, "Optoelectronic properties of CdO/Si photodetectors" ,*Solid State Electron.* , 1765-1769, 44(2000).
- 16)H. H. Afify, S. H. EL-Hefnawi, A. Y. Eliwa,M. M. Abdel-Naby and N. M. Ahmed, "Realization and Characterization of ZnO/n-Si Solar Cells by Spray Pyrolysis" Egypt. J. Solids, Vol. (28), No. (2), (2005).
- 17) M.A .Lampert, P.Mark , "Current Injection in Solids", *Academic Press, New York*, (1970).
- 18) A. Gulino, G. Compagnini, A.A. Scalisi, "Large non linear optical properties of cadmium oxide thin films", *Chem. Mater*, 3332-3336, 15(2003).
- 19) S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", 2nd ed, *John wily and sons*, New York, (1981).

Study the electrical properties of ZnO/p-Si heterojunction prepared by chemical spray pyrolysis

Abdul Majeed E.Ibrahim¹, Raid A. Isma'el², Enad S.Ibrahim¹, Essam M.Ibrahim³

¹ physics department , College of Education for pure science department, Tikrit University , Tikrit , Iraq

² Applayed science department , University of technology , Baghdad , Iraq

³ physics department , University of Baghdad , Baghdad , Iraq

Abstract

In this work prepared ZnO/p-Si heterojunction by using spray pyrolysis method (CSP) from Zinc acetate solution ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) on (111) oriented p-type silicon substrate with dimension (1cmx1cm) composed with (0.2M) at (350 C^o), and studying The electrical properties of ZnO/p-Si heterojunction. (I-V) characteristic in dark and illumination, (C-V) characteristic and The built- in potential (V_{bi}) is calculated, while from I-V measurements, the ideality factor (β), the Rectification Factor(F) and (I_{photo}/I_{dark}) ratio are calculated.