Using Anisotropic Silicon Etch for Change the Crystal Orientation of Silicon Wafer

Dr.Saria D.mohammed
Applied Science Department, University of Technology/Baghdad
Arrej Rlyadh Saeed
Applied Science Department, University of Technology/ Baghdad
Email: Areej_ahmeed2007@yahoo.com
Atheer Ibraheem Bbd
Applied Science Department, University of Technology/ Baghdad

Received on: 6/9/2011 & Accepted on: 5/1/2012

ABSTRACT

In this work، anisotropic silicon etch using KOH ، optical microscopic and X-ray diffraction testing، were used to determine the crystal orientation of the silicon wafer(100) plane , where the mechanical polishing and wet etching described the geometric dislocations pits which refers to the crystallographic and the level of (100).

Microscopic examination have been described the geometric dislocations pits which reflected from plane (100) in the forms of four fold flat symmetry which refers to that plane in Silicon wafer, as the distribution of Miller Indices in the cubic system, by the impact chemical wet KOH with concentration 30 wt%, and an etching temperature of 70°C.

The crystal orientation of silicon wafer has been changed from (100) to (111) plane, by chemical wet KOH through cutting 54,7°, the dislocations pits appear in geometric forms in conical shape which refers to the direction [111] for silicon wafer، by the impact chemical wet KOH with concentration 44 wt%, and an etching temperature of 120°C for 20-30min

تغير التوجبه البلوري لسطوح شرائح السلكون باستخدام تقنية الاظهار الكيميائي الرطب الايزتروبك

الخلاصة

تضمن البحث اعتماد تقنية الاظهار الكيميائي الرطب لمحلول KOH والفحوصات المجهرية والاشعة السينية لتحديد التوجيه البلوري لشرائح السليكون وللمستوي (100)، حيث أدت المعاملات الميكانيكية ومحاليل الاظهار المفضلة الى احداث تشويهات ذات هيئات هندسية مميزة تشير الى المستويات البلورية لشرائح السليكون .

بينت الفحوصات المجهرية هيئات ندب الانخلاعات للسطوح (100) في شرائح السليكون بتأثير تقنيات المحاليل الكيميائية الرطبة (KOH) و لنسب وزنية(30%) ولدرجات

https://doi.org/10.30684/etj.30.8.15
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

حرارية (80C°)، حيث كانت على هيئة مربعات حادة الحافات مسطحة تشير الى تلك المستويات وحسب توزي معامل ملر في النظام المكعب .

تم تغير التوجيه البلوري لشرائح للسليكون الاحادي البلورات لبعض السطوح البلورية وللمستويات (100) الى المستويات (111) وبزاوية قطع بين المستويين 54,7°،وذلك باعتماد تقنيات الاظهار الكميائي الرطب KOH عند نسب وزنية 44% ولدرجات حرارية(120 °C) وخلال فترات تعرض مختلفة من(30-50 min) .

الكلمات المرشدة: تغير التوجيه البلوري لسطوح شرائح السلكون

المقدمـــــــة

تشكل البلورات الاحادية single crystals قواعد التكنولوجية الحديثة إذ تدخل البلورات الاحادية في صناعة الليزرات والاجهزة الالكترونية والبصرية [1] .أعتمدت تقنيات الاجهزة الالكترونية وصناعة الخلايا الشمسية في الخمسينات على شرائح أشباه الموصلات الاحادية وبشكل خاص على شرائح السليكون الاحادية ،وذلك لكون السليكون الاكثر توفر في العالم حيث يمثل السليكون (25%) من مادة القشرة الارضية ولكون تكنولوجية السليكون هي الارقى في جميع التقنيات المعتمدة على أشباه الموصلات مثل الجرمانيوم ومركبات III-V .

نظراً لاعتماد الكثير من الخواص الفيزيائية لاشباه الموصلات و بشكل خاص السليكون على اللمستويات البلورية أصبح من الضروري مراعاة التوجيه البلوري اثناء عمليات النماء البلوري لقضيب السليكون باستخدام البذرة seed ذات الاتجاهية المرغوبة حيث يفضل أستخدام الشرائح البلورية للمستويات (100) في صنع الخلايا الشمسية بينما تستخدم الشرائح البلورية للسليكون وللمستوي (111) في تصنيع الترانزستورات ونبائط أاشباه الموصلات [2] .

تتسم المواد البلورية بمبدأ الدورية periodicity أي ان ذراتها مرتبة على أبعاد محددة من بعضها وفي الاتجاهات الثلاثة للشبيكة مكونة هيئة هندسية منتظمة وتتصف بترتيب طويل المدى Order Long Range ، ومثل هذه المواد تسمى بالبلورات الاحادية single crystal كما موضح بالشكل (1) [3]. التركيب البلوري للسليكون هو تركيب بلورة الماس Diamond المشابه لتركيب الزنك بلاند مع أاختلاف الاخير بتأصره لنوعين من الذرات المختلفة ،الشبيكة البلورية للسليكون من نوع مكعب ممركز الاوجه Face-Centered Cubic (FCC) ذات التنسيق الرباعي Tetrahedral حيث تحاط كل ذرة من السليكون بأربعة من الذرات المتشابهة .

توصف جميع المستويات الشبيكيةlattice planes والاتجاهات الشبيكية lattice directions بمصطلح معامل ملر (hkl)،والذي يعد وصفا رياضيا mathematic description من خلاله نتمكن معرفة المواصفات و المناقشات عن المستويات والاتجاهيات البلورية الخاصة للسطوح او داخل الكتل في البلورات الاحاديةbulk of the crystal. ففي المجموعة الشبيكة المكعبة cubic lattice system تمثل الاتجاهية direction [hkl] بالمتجه العمودي على السطح للمستوي الدقيق او مايسمى facet.

يرمز لمجموعة الستويات { hkl } ويرمز للاتجاهية البلورية بالصيغة [hkl] وللمجموعية الاتجاهية بـ < hkl > . تتعامد الاتجاهية لدليل ملر في نظام المكعب البسيط مع المستويات البلورية يوضح الشكل(2) ثلاث مستويات عامة لمعامل ملر (F.C.C) وهي عائدة للمستويات (111) ، (110) ، (100) وعلى التوالي[4] .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تعطى الزاوية بين المستوين البلورية(θ)من خلال العلاقة الرياضية التالية،يوضح الجدول (1) الزوايا (بالدرجات) بين المستويات البلوريه الشائعة لاشباه الموصلات [4] .

$$COS(Theta) = \frac{(hH + kK + lL)}{\sqrt{(HH + KK + LL)(hh + kk + ll)}} \quad \ldots.(1)$$

حيث تشير(hkl) الى المستوي الاول و (HKL) الى المستوي الثاني .

يؤثر محلول الاظهار الرطب(KOH) wet-chemical etching. بشكل فعال على تغير التوجيه البلوري للسليكون وبمعدلات اظهار سريعة ، حيث تشير الجداول في العديد من البحوث الى تاثير محلول القاعدة ذات نسب جزيئة مختلفة وهي (30%) ،(40%)،(50%). على تغير التوجيه البلوري للسليكون ذات المستوي(100) والمستويات الاخرى بمعدلات الاظهار مختلفة (μm/min) عند تسخين المحلول لدرجة حرارية تتراوح بين ° (70-120) C [5].

حيث تزداد معدلات الاذابة للمحلول بارتفاع الدرجات الحرارية للمحلول القاعدي ، وتزداد معدلات القشط الكميائي بارتفاع درجات حرارة للمحلول القاعدي. هنالك زيادة في معدلات الاظهار للمستويات (110) بالمقارنةمع الاظهار للمستويات(111) وبمعدلات min^{-1} μm (5.8 -0.024) عند ارتفاع درجات الحرارية للمحلول القاعدي الرطب KOH من (20-100C°) [5].وتشير البحوث الى ان هنالك زيادة في معدلات الاظهار للمستويات (110) بالمقارنةمع الاظهار للمستويات(111)، بينما تزداد معدلات الاظهار للمستوي (100) بشكل اسرع من الاظهار للمستوي(110) [5].

تظهر هيئة ندب الانخلاعات Etch Pit Dislocations بتأثير تفاعل محلول الاظهار الكيميائي الملائم مع السطوح البلورية بأشكال هندسية Geometric Configuration محددة وحسب اتجاهية السطوح [6]، يعزى التشابه في هيئة الندب المظهرة للمستويات الموجهة وبشكل عام في تراكيب بلورة الماس للجرمانيوم والسيليكون وزئك بلاند للمركبات III-V في أشباه الموصلات الى تناسقية السطوح الرباعية (Sp3 الهجينة). حيث تحاط كل ذرة بأربع ذرات قريبة وتتآصر الذرات على طول الانخلاعية ثلاثياً للشبيكة وتشير الانخلاعات الى مواقع بلوررية ذات أواصر متدلية تتفاعل تلك الاواصر بالمحاليل المظهرة فتظهر على هيئات هندسية مختلفة وحسب اتجاهية المستويات البلورية فتعكس سطوح المستويات (111) ، (100) ندب الانخلاعات ذات هيئات المثلثية ، ذات استطالة وعلى التوالي بينما تتاثر المستويات البلورية بنوعية المحاليل الكيميائية المستخدمة حيث تتغير الهيئة الهندسية للندب المظهرة بذلك فتظهر هيئات مثلثية مخروطية الشكل لمستويات السليكون (111) عند استخدام محلول الاظهارCp-4 بينما تظهر بشكل مثلثات مسطحة الشكل لمستويات السيليكون (111) بتأثير محلول الاظهار القاعدي [6].

هدف البحث

سيتضمن هذا البحث استخدام المحلول القاعدي KOH في تقنيات الاظهار الكميائي المفضل الرطب Anisotropic لغرض لاظهار مجموعة المستويات <100> مع العامود وتغير الاتجاهية للمستويات البلورية لسطوح السليكون من المستوي (100) الى (111) بزاوية

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقدارها°54.7 ، وبدون اللجوء الى تقنيات القطع الميكانيكي وذلك لغرض استخدامها في تحسين كفاءة الخلايا الشمسية بزيادة المساحات السطحية لسطوح شرائح السليكون.

الجانب العملي

تم الحصول على النماذج البلورية لشرائح السليكون ذات سمك (500 µm) وللمستوي (100) المصنع في شركة المنصور العامة باستخدام تقنية السحب البلوري، والتي تم تحديد اتجاهاتها بطريقة (XRD) مسبقاً في شركة المنصور العامة.

العمليات الميكانيكية

لقد استخدمت عمليات الصقل لتنعيم القطع وللحصول على مستويات موازية للسطح ولازالة أخطاء القطع للمستويات المحددة وتشمل عمليات الصقل على الصقل Grinding والتنعيم Polishing. ولمنع تكسر الشرائح السليكونية تم تثبيتها على مساند الكبريت الهشة قبل المباشرة بتلك العمليات الميكانيكية ثم اخراجها من المساند لاحقا للاستفادة منها في التطبيقات العلمية .

تثبت اوراق التنعيم grinding Paper لدرجات تتراوح بين (5 -25µm) على قرص دوار لمنظومة الصقل لنوع Flat- Cast –Iron Lap. تم امساك مساند النموذج وبشكل عمودي على سطح الورقة و بتحريك يدوي على هيئة دائريه وبأتجاه واحد ولمدة تتراوح بين (15-30 min) , للحصول على سطح ناعم مستوي خالي من الخدوش.

يثبت النموذج بعد ذلك على قماش التنعيم في القرص الدوار ويستخدم محلول الالومينا (AL_2O_3) ذات مقاس حبيبي (5µm) من سائل الكليسيرين أو الماء اللايوني لتنعيم الشرائح، ثم يستخدم معجون الماس Diamond Pasts (0.25) لصقل النموذج لحين الحصول على سطح صقيل يشبه المرآة . يغسل النموذج بالماء المقطر، تزال مساند الكبريت باستخدام ملقط حاد أو سكينة حادة ثم يستخدام محلول حامضي مخفف لتنظيف النماذج البلورية والمتكون من : 1HF: 10H2O عند درجة حرارة الغرفة ثم يغسل بالماء المقطر ويجفف بالهواء الجاف.

الاظهار الكيميائي لندب الانخلاعات

لغرض اظهار المستويات البلورية (100) تحضير محلول الاظهار القاعدي الرطب بنسبة 30% من KOH 70% من H2O وكلاتي: يخلط 0.7g KOH، 1.90 ml من الماء الأيوني في الحاوية الزجاجية وتذوب على سطح حار ثم تضاف الى المحلول القاعدي 0.40ml من محلول الكحول isopropyl alcohol .يوضع المحلول KOH في الحاوية الزجاجية ويسخن الى درجات حرارية (80C°) باستخدم السخان الحراري ويفضل استخدام خلاط لتسهيل الاذابة. ان معدل القشط الكميائي Etch rate للشريحة السليكونية وللمستويات (100) بمقدار (0.02m min-1) وحسب الجدول (2). ترفع الشريحة من الحاوية الزجاجية ،ويرمى محلول KOH في المكان المخصص لذلك ،يهيئ الماء اللايوني لغرض غسل الشرائح وازالة تاثير المحلول القاعدي من على سطح الشرائح . ثم تفحص باستخدام مجهر ضوئي عاكس لنوع Metallux 3 ولقوة تكبير مختلفة تتراوح (50- 1000) مرة .

لغرض تغير الاتجاهية للمستويات البلورية ولبعض السطوح للشريحة السليكونية ذات السمك ذات سمك (500µm) من المستوي (100) الى (111) بزاوية قطع مقدارها°54.7 ، تم تحضير محلول الاظهار الرطب KOH بنسبة 44% من KOH 56% من H2O واتباع ماذكر في اعلاه و تسخين المحلول القاعدي KOH للدرجات الحرارية من (C° -80

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

120) ان معدل القطع الكميائي للشريحة السليكونية من المستويات (100) الى المستويات (111) بمقدار Etch rate (0.02µm min-1) وحسب الجدول (2)[6].ترفع الشريحة من الحاوية الزجاجية ،ويرمى محلول KOH في المكان المخصص لذلك ،يهيئ الماء اللايوني لغرض غسل الشرائح وازالة تاثير المحلول القاعدي من على سطح الشرائح . ثم تفحص باستخدام مجهر ضوئي عاكس لنوع Metallux 3 ولقوة تكبير مختلفة تتراوح (50-1000) مرة .

النتائج والمناقشة

تعطي تقنية الاظهار الكيميائي الرطب KOH لندب الانخلاعات معلومات قيمة ومعتمدة عن التوجيه البلوري لمستويات السليكون ، حيث تؤدي المحاليل والمعاملات الكيميائية للاظهار الى إحداث تشوهات ذات هيئات مميزة تمثل ندب الانخلاعات . ومن خلال تلك الهيئات والاشكال الهندسية بالا'مكان الاستدلال الى المستويات البلورية لشرائح السيليكون اعتماداً على المصادر العلمية المعتمدة لذلك . ولغرض تغير التوجيه البلوري للسليكون من سطوح المستويات (100) الى المستويات (111) لشرائح السليكون ذات السمك(500µ m) وبدون اعتماد تقنية القطع الميكانيكي باستخدام المحاليلKOH.حيث ان الزاوي المحصورة بين المستويات (100)وبين(111) هي (54.7°).

الاظهار الكميائي لشرائح السيليكون للمستويات (100)

يوضح في االاشكال (3)،(4)، (5) الصور المجهرية لندب الانخلاعات المظهرة لسطوح بلورة السيليكون وللمستوي (100) عند التكبير (300 X) ، (500 X) ، (750X) ، (1000X) وعلى التوالي ، بعد عمليات الصقل والتجليغ الميكانيكيه واستخدام المحلول الكيميائي.

يظهر في الاشكال (3)،(4)، (5)، (6) وعلى التوالي الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات على

30 weight % KOH solution at 80°C Etch rate (1.3 µm min-1)

شكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة ، يعزى ذلك الى تأثير الاظهار لتحفير الجوانب الاربعة الهرمية four – side pyramids في النظام المكعب لتركيب بلورات السليكون ، حيث يقترب الشكل الهندسي لندب الانخلاعات الى الشكل المربع وحسب توزيع الذرات لمعامل ملر في المستوي (100) لتركيب بلورات ا ذات FCC وكما موضح في الشكل(2) .

تغير التوجيه البلوري للسليكون

يتبين من خلال الرسم تخطيطي في الشكل (7) القطع الزاوي بين المستوين (100) و(100) وان الزاوية المحصورة بين المستويات (100)وبين(111) هي (54.7°). حيث يظهر ان عدد التوزيع للذرات في المستوي (111) اكثر من عدد الذرات في المستوي وهذا يتطلب فترة زمنية للاظهار المستوي اكثر من المستوي(100) وان الشكل التخطيطي للمستوي (111) لابد ان يكون شكل هرمي مجسم [7] .

يوضح الاشكال (8)،(9)، (10)، (11)، (12) الصور المجهرية لندب الانخلاعات المظهرة لسطوح بلورة السيليكون (100) خلال عمليات التغير للتوجيه

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

للمستوي (111)عند التكبير (X500) ، (X500) ، (X750) ، (1000 X) وعلى التوالي بعد عمليات الاظهار الكميائي الرطب للقاعدةKOH ولنسب وزنية 44 weight % ولفترات تعرض مختلفة من30-50 min .

44 weight % KOH solution at 120°C Etch rate (0.02µm min-1)

يظهر من خلال الشكلين (8)،(9) تاثير المحلول القاعدي ولزمن تعرض (20—30min)على تغير هيئة الندب للمستوي(100) من الشكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة ا لى هيئة مربعات هرمية الوسط اقرب للمستويات (111) وكما مبينة في الشكل التخطيطي الشكل (7) لتوزيع الذرات في معامل ملر في شكل (2).بينما نجد من خلال(10) تاثير المحلول القاعدي ولزمن تعرض (40min)على تغير هيئة الندب للمستوي(100) ا لى هيئة مثلثات هرمية الوسط القاعدة رأسه يشير الى الاتجاه[111].

يظهر في الشكلين (11)،(12) تاثير المحلول القاعدي ولزمن تعرض ولزمن تعرض (50min)على تغير هيئة الندب للمستوي(100) من الشكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة ا لى هيئة مثلثات الشكل مسطحة الوسط القاعدة رأسه يشير الى الاتجاه [111] عند تكبير (750 X) ، (1000 X) وعلى التوالي وهي اقرب للنتائج التي تم الحصول عليها في البحث [8] .

نتائج فحوصات الاشعة السينية

توضح الاشكال (13)،(14)،/(15) نتائج فحوصات الاشعة السينية لشرائح السليكونية الاحادية البلورات وللمستويات (100) ،للمستويات(111) بعد عمليات التغير التوجيه البلوري بطريقة المحاليل الكميائية الرطبة. يظهر من خلال الشكل(13) ان قمة المستويات (100) لشرائح السلكونية الاحادية البلورات تظهر عند الزاويا (2θ) وبالتقريب(° 69) وحسب زوايا براك لحيود الاشعة السينية للشعاع (CuKα) لاشباه الموصلات في جداول(ASTM).

يظهر من خلال الشكل (14) تاثير المحلول الكميائي الرطب على تغير التوجيه البلوري لبعض سطوح الشرائح السليكونية من المستويات (100) الى المستوي(111)،حيث تظهور قمة للمستويات (111) عند الزاوية (2θ) وبالتقريب(°28) وحسب زوايا براك لحيود الاشعة السينية للشعاع (CuKα) لاشباه الموصلات في جداول(ASTM)وهذا يفسر تاثير الاظهار الكميائي خلال فترة تعرض50min على احداث قطع زاوي بمقدار°54,7 بين للسطوح البلورية للمستوين(100)،(111). بينما يوضح الشكل (15) ظهور قمتين للمستويات(111) وللمستويات (100) لشرائح السلكونية الاحادي البلورات ، وهذا يفسر تاثير المحاول الكميائي KOH علي تغير بعض السطوح للشرائح السلكونية من المستويات(100) الى(111)، وذلك لكون سمك الشرائح السلكونية هي (µ 500).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الاستنتـــــــــــــــــــــــــــتاجات

بعد استعراض النتائج الخاصة بتقنيات الاظهار الكيميائي لندب الانخلاعات لتحديد التوجيـــه البلوري لشرائح السيليكون نستنتج الاتي:

- تعطي تقنية الاظهار الكيميائي الرطب لندب الانخلاعات معلومات قيمة ومعتمـــدة عـــن التوجيه البلوري لمستويات السليكون
- تؤدي المحاليل الكيميائية الرطبةKOH الى إحداث تشوهات ذات هيئات مميزة تمثل ندب الانخلاعات ، ومن خلال تلك الهيئات والاشكال الهندسية بالاُمكان الاســتدلال الـــى المستويات البلورية لشرائح السيليكون اعتماداً على المصادر العلمية المعتمدة لذلك .
- لغرض تغير التوجيه البلوري للسليكون من المســتويات (100) الـــى المســتويات (111) لشرائح السليكون ذات السمك (500μ m) وبدون اعتماد تقنية القطع الميكانيكي بالامكـــان الاعتماد على تقنيات الاظهار الكميائي الرطب باستخدام المحاليلKOH.
- يؤثر المحلول القاعدي ولزمن تعرض ولزمن تعـــــــــــرض (50min)على تغير هيئة الندب للمستوي(100) من الشكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة الى هيئـــة مثلثـــات هرمية الشكل مسطحة الوسط القاعدة رأســـــه يشـــــير الـــى الاتجـــــــــاه [111] وحسب معامل ملر .

References

[1] Runyan, W. R. “Semiconductor Measurements and Instrumentation" Pub. McGraw-Hill Book Company (1975).
[2] tanner, B. K. " Characterization of Crystal Growth Defects by X-ray Methods " Pub. Plenum Press (1978).
[3] Tanislaw, S. " Defect and Diffusion in Solids " Pub. Elsevier Scientific (1980).
[4] Runyan, W. R. " Semiconductor Measurements and Instrumentation" Pub. McGraw-Hill Book Company (1975).
[5] Hull, R. " Properties of Crystalline Silicon " INSPEC, London, (1999).
[6] Sato,K. M. Shikida, and Y. Matsushima, “Characterization of anisotropic etching properties of single-crystal silicon: Effects of KOH concentration on etching profiles” , proceedings of IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Nagoya, Japan, January pp. 406-411(1997) .
[7] 1501 Powhatan Street, Fredericksburg, VA 22401 “ Wet-Chemical Etching and Cleaning of Silicon” Virginia Semiconductor, Inc. January (2003).
[8] M A Gos´alvez and R M Nieminen"Surface morphology during a anisotropic wet chemical etching of crystalline silicon"New Journal of Physics 5 100.1–100.28(2003) .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

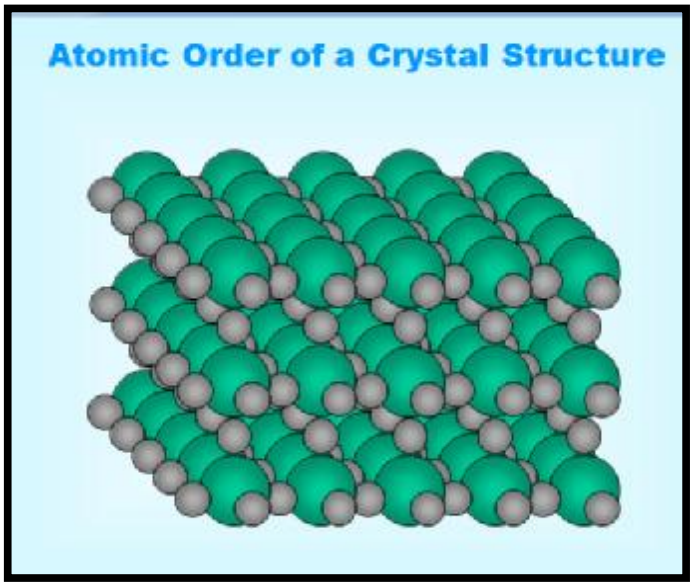
الجدول (1) الزوايا (بالدرجات) بين المستويات البلوريه الشائعة لاشباه الموصلات[5].

ANGLE	100	110	010	001	101
100	0	45	90	90	45
011	90	60	45	45	60
111	54.7	35.3	54.7	54.7	35.3
211	35.2	30	65.9	65.9	30
311	25.2	31.4	72.4	72.4	31.4
511	15.8	35.2	78.9	78.9	35.2
711	11.4	37.6	81.9	81.9	37.6

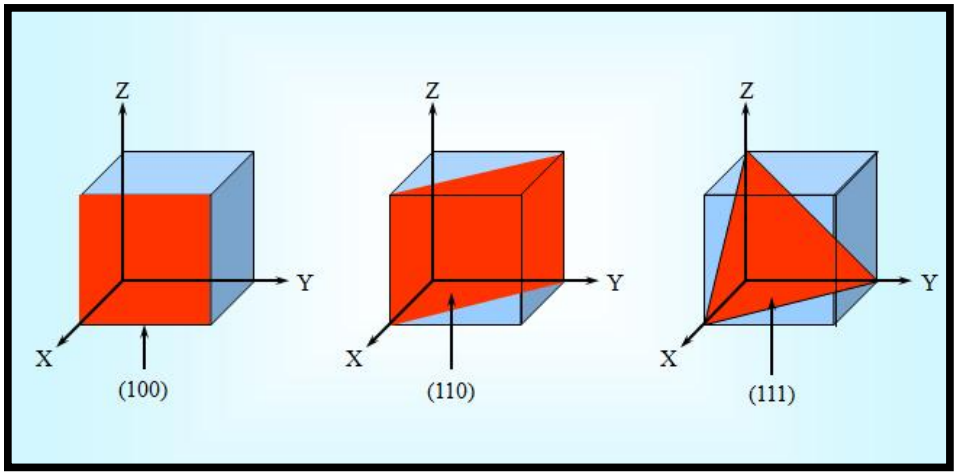
الجدول (2) المحاليل الكميائية المستخدمة في اظهار التوجيه البلوري للسليكون

Etchant	Temperature (°C)	Direction (plane)	Etch rate (μm min^{-1})
30% KOH: 70% H_2O	20 40 60 80 100	(100) (100) (100) (100) (100)	0.024 0.108 0.41 1.3 3.8
44% KOH: 56% H_2O	120	(100) (110) (111)	5.8 11.7 0.02

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

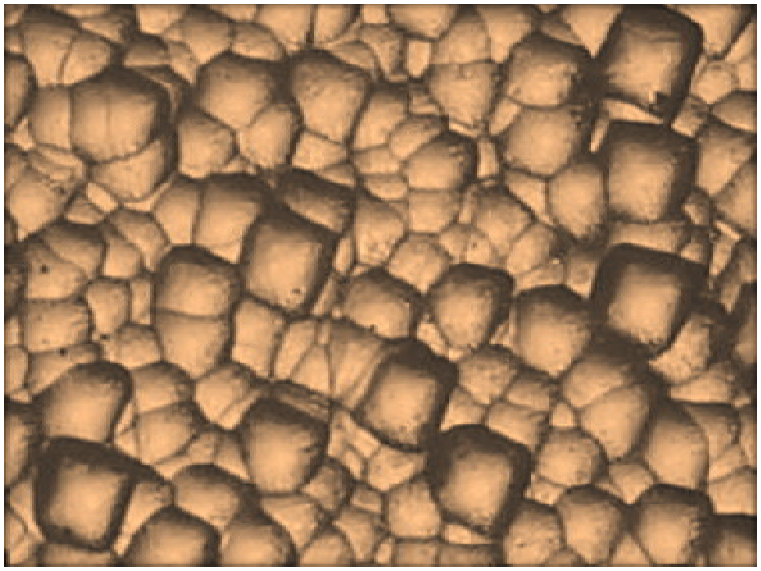


شكل (1) الشبكية البلورية[3]

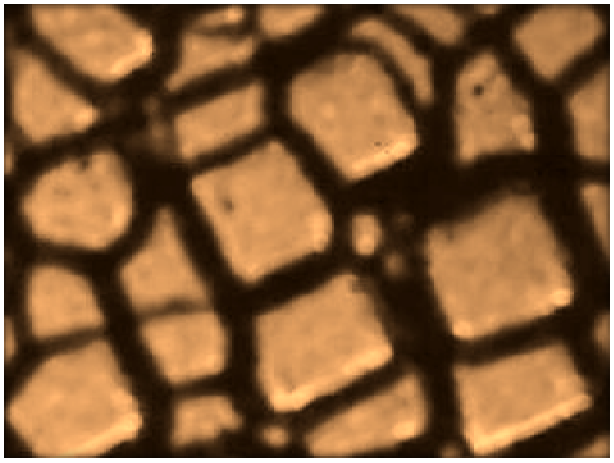


شكل (2) توضح المستويات لمعامل ملر الواطئة في نظام المكعب (دايموت)[4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

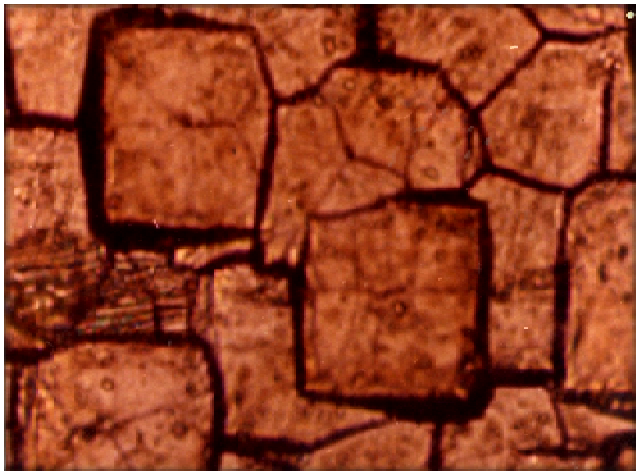


شكل(3) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات على شكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة للمستوي (100) ولتكبير(X 300)

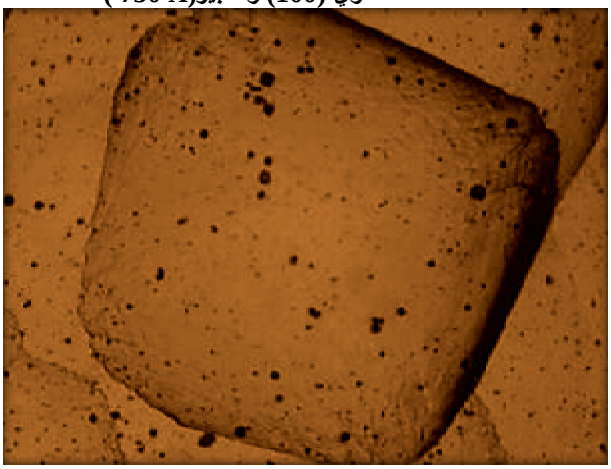


شكل(4) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات على شكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة للمستوي (100) ولتكبير(X 500)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

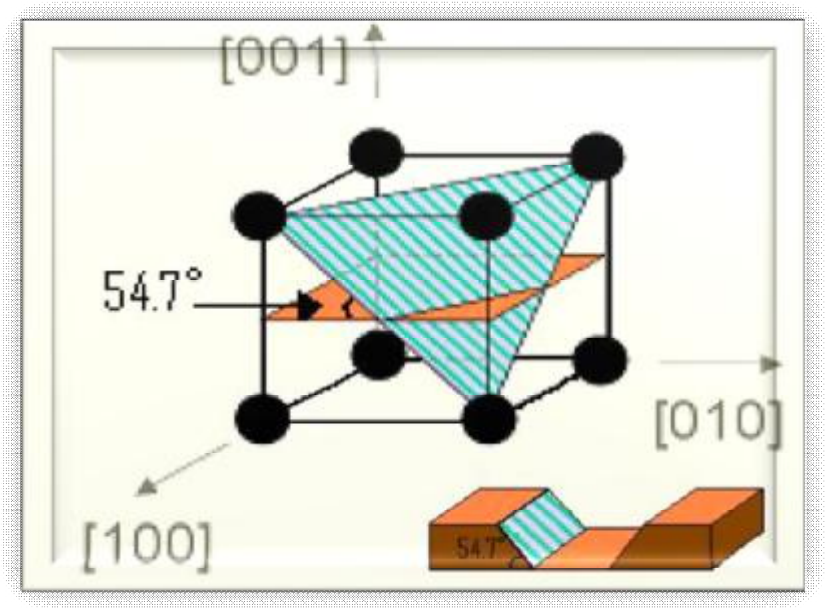


شكل(5) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات على شكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة للمستوي (100) ولتكبير(X 750)

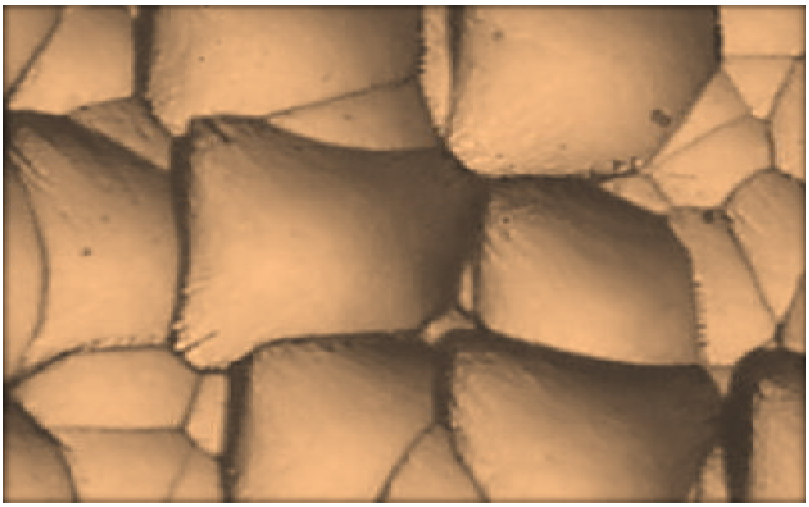


شكل(6) لهيئات الهندسية لندب الانخلاعات على شكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة للمستوي (100) ولتكبير(1000X)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

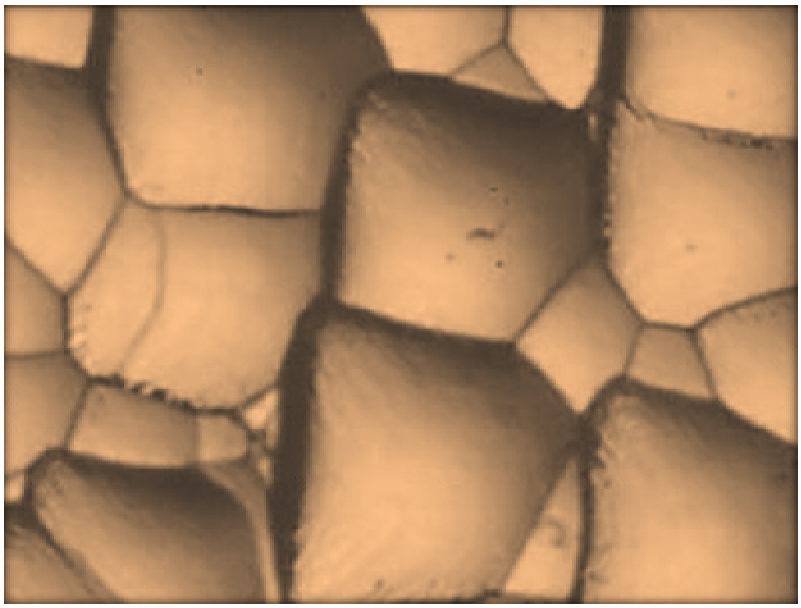


الشكل (7) رسم تخطيطي للزاوية بين المستوين (100)و(111) [7]

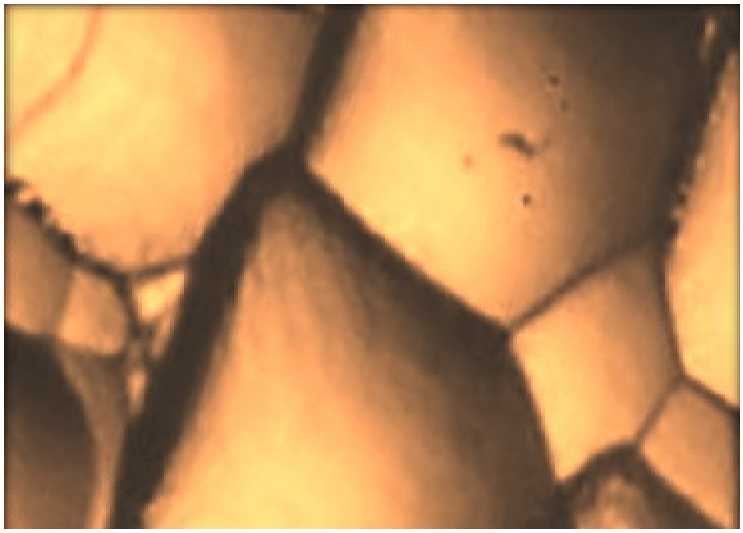


شكل(8) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات تتحول من (100) الى(111) خلال 20 min ولتكبير (500 X)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

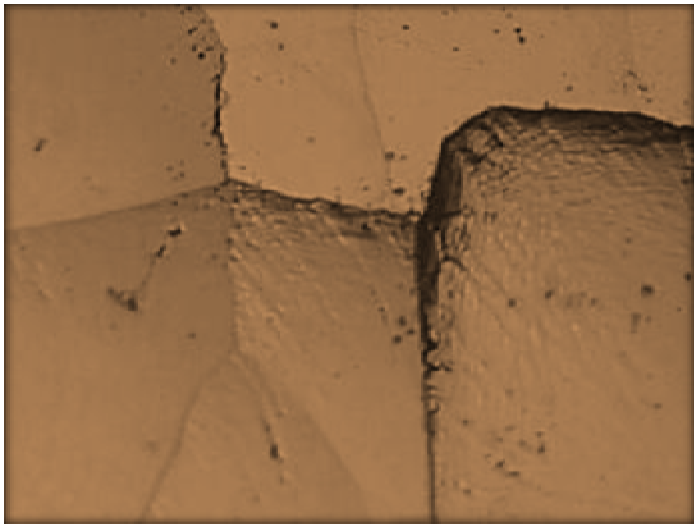


شكل(9) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات تتحول من (100) الى(111) خلال 30 min ولتكبير(X 500)

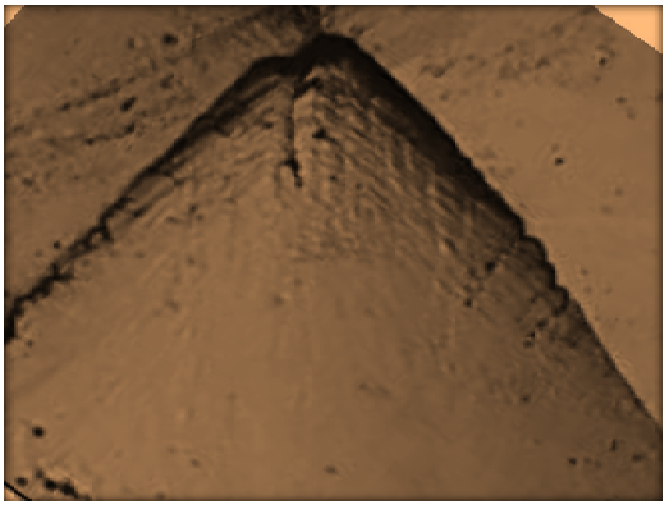


شكل(10) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات تتحول من (100) الى(111) خلال 40 min ولتكبير(X 750)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

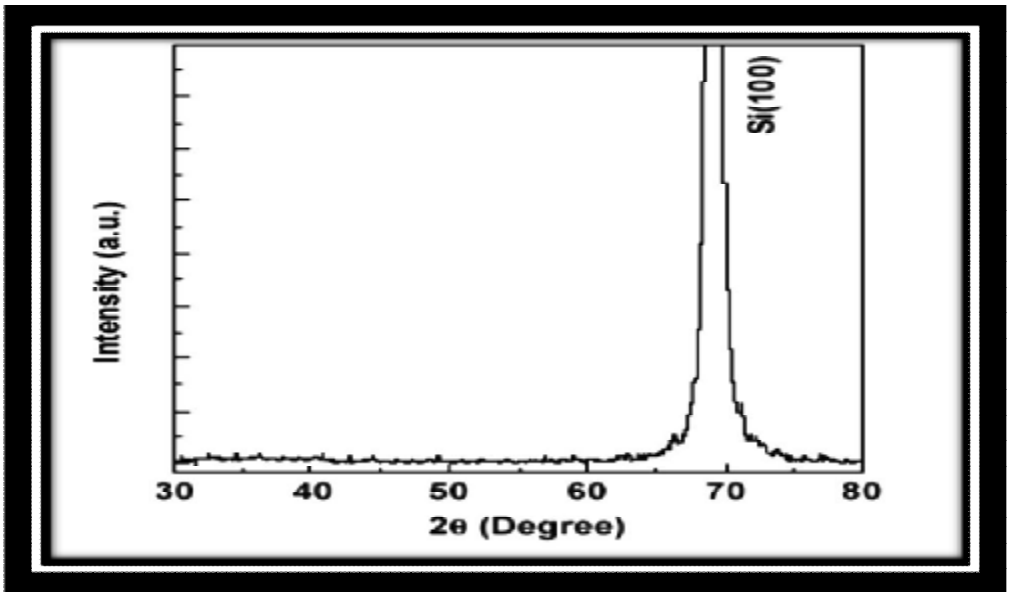


شكل(1 1) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات تتحول من (100) الى(111) خلال 50 min ولتكبير (X 750)

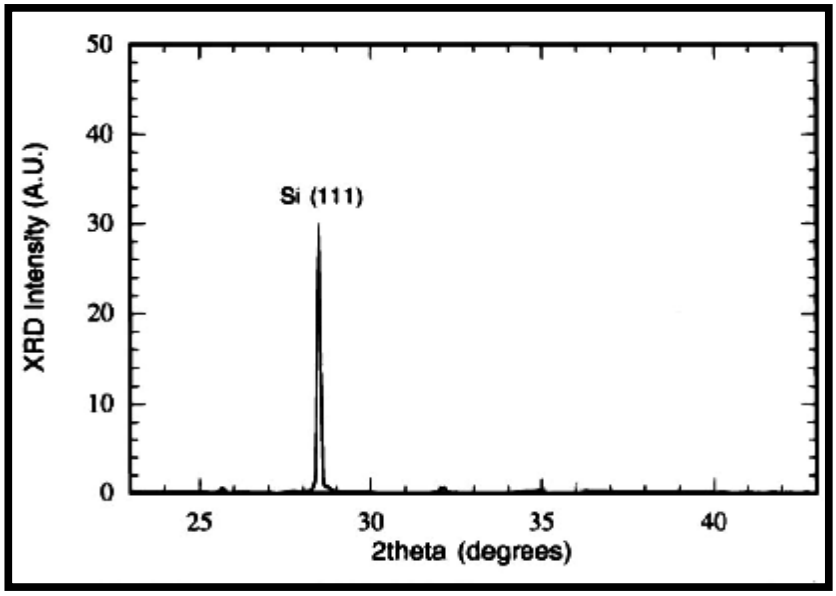


شكل(2 1) الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات تتحول من (100) الى(111) خلال 50 min ولتكبير(X 1000)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

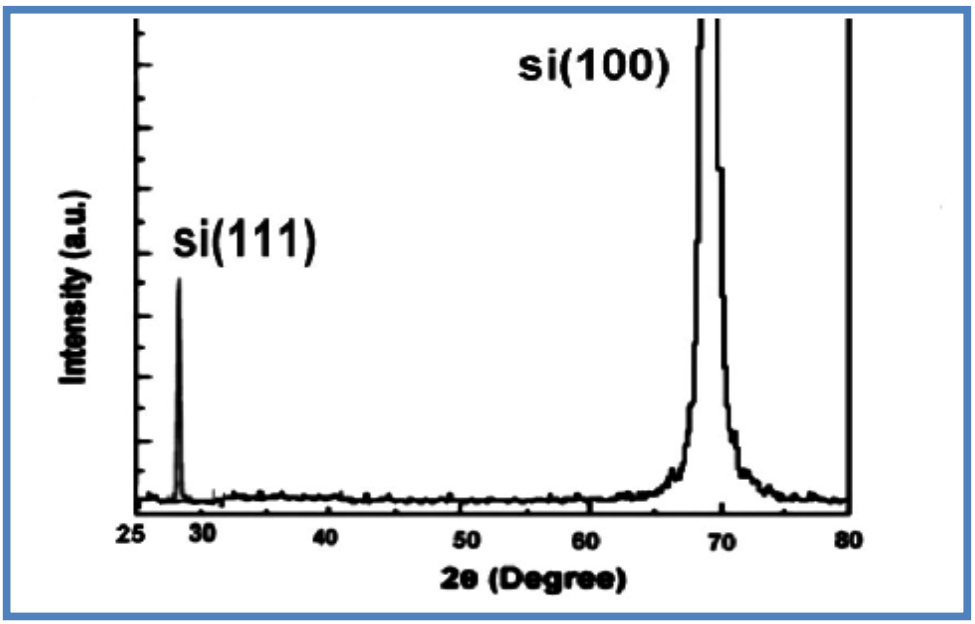


شكل (13) فحوصات الاشعة السينية لشرائح السلكونية وللمستويات(100)



شكل (14) فحوصات الاشعة السينية لشرائح السلكونية وللمستويات(100) بعد تغير التوجيه

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل (15) فحوصات الاشعة السينية لشرائح السلكونية وللمستويات(100)
بعد تغير التوجيه البلوري للمستويات(111)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com