

инжиниринга и реинжиниринга бизнеса и методов теории активных систем.

Предложенный комплексный интегрированный подход к автоматизации деятельности предприятия обеспечивает оптимальное функционирование исполнительного механизма многоуровневой системы управления и организации производства и может быть предложен в качестве основы при разработке и реализации реальных проектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Ойхман Е.Г., Попов Э.В.* Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационных технологий. - М.: Финансы и статистика, 1997.- 336 с.: ил.

2. *Devenport T.H.* Business Innovation, Reengineering Work through Information Technology.- Boston: Harvard Business School Press,1993.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ РАСТЯЖЕНИЯ

Дрожжин А.И., Ермаков А.П., Яценко С.Н.

*Воронежский государственный технический университет
394026 Воронеж, Московский просп., 14,
E-mail : nis@ns1.vstu.ac.ru*

АННОТАЦИЯ: При воздействии импульсов электрического тока и осевой нагрузки растяжения в исходно бездислокационных нитевидных кристаллах наблюдается макроскопическая пластическая деформация, сопровождающаяся её резкой локализацией вдали от токовых выводов.

Внешние электромагнитные поля оказывают влияние на пластичность и прочность реальных кристаллических материалов с различным типом связи. Большинство исследований этих влияний проведено на макрокристаллах и существенно меньше - на микрокристаллах. В настоящей работе изучалось влияние импульсов электрического тока и осевой нагрузки растяжения на пластичность микрокристаллов кремния. В качестве образцов использовались нитевидные кристаллы (НК) кремния, которые являются уникальными модельными объектами для экспериментальных исследований.

НК кремния выращивали методом химических газотранспортных реакций в закрытой ампуле. В процессе роста НК легировали золотом и бором. Выросшие НК имели p-тип проводимости и ориентацию оси роста $\langle 111 \rangle$. Отбор НК проводился под микроскопом при увеличении в 4-25 раз. Погрешность при измерении диаметра составляла 0,4 мкм, длины - 10 мкм. Отобранные для исследований НК имели длину 2-5 мм, диаметр 50-90 мкм, конусность $< 2 \cdot 10^{-3}$ и представляли собой правильные шестигранные призмы, ограненные семейством плоскостей $\{211\}$. На боковой поверхности НК оптически выявлялись ступени роста, ортогональные оси $\langle 111 \rangle$. В пределах разрешения методов металлографии, рентгеноструктурного анализа, селективного травления и внутреннего трения было установлено, что в исходном состоянии НК кремния являются бездислокационными. Исследовались шесть партий - по три НК в каждой. Общее сопротивление НК составляло 330-740 Ом; удельное сопротивление - $(0,55-1,9) \cdot 10^{-3}$ Ом·м.

Омичные контакты к НК p-Si $\langle 111 \rangle$ одновременно с токовыми выводами создавали импульсной микросваркой платиновой проволоки диаметром 25 мкм. Сопротивление контактов составляло 0,1- 1% от общего сопротивления НК. Режим воздействия электрическими импульсами для каждой партии НК определялся по вольт-амперным характеристикам (ВАХ), полученным при 300 К. ВАХ исследовали как в ненагруженных НК, так и в нагруженных внешней осевой нагрузкой растяжения. Средние напряжения растяжения в

нагруженных НК достигали $\langle \sigma_p \rangle \sim 10^3 - 10^5$ Па, максимальные локальные напряжения у поверхностных концентраторов могли возрасти на 1-2 порядка и достигнуть $\sigma_n = (10 - 10^2) \langle \sigma_p \rangle$. Температурный коэффициент сопротивления НК в интервале 300-500 К был положительным и составлял $(1-3) \cdot 10^{-3}$ К⁻¹, удельное сопротивление $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ Ом·м.

Эксперименты по изучению влияния импульсов электрического тока и осевой нагрузки растяжения на пластичность НК p-Si <111> проводились по схеме, которая приведена на рис.1.

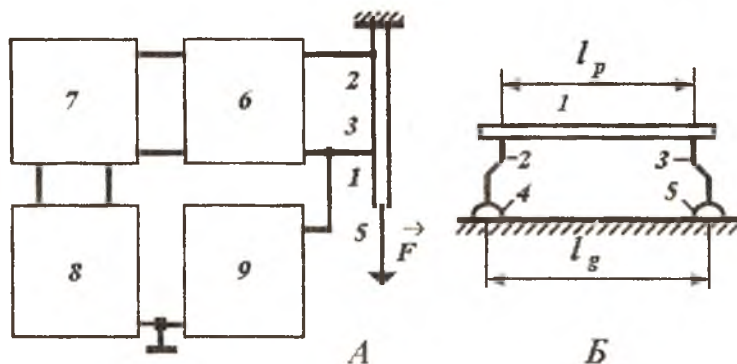


Рис.1.

НК 1 с омичными контактами и токовыводами 2 и 3 жестко крепился либо свободными концами - схема А, либо токовыводами к захватам 4-5, расположенным на расстоянии $l_g > l_p$, схема Б. Последнее позволяло задавать внешнюю одноосную нагрузку растяжения и обеспечивало средние напряжения $\langle \sigma_p \rangle$ по сечению НК, закрепленного по схеме Б. Устройство помещалось в защитный экран на противоударном столе, что исключало непреднамеренное разрушение, либо неконтролируемое введение дефектов в НК случайной ударной нагрузкой. Погрешность измерения деформации не превышала 10^{-4} .

Для измерения сопротивления R НК токовыводами 2,3 включался в плечо моста 6. Сигнал разбаланса моста посту-

пал на усилитель 7 и регистрировался самопишущим прибором 8. Ошибка измерения сопротивления, вызванная изменением температуры, исключалась включением в плечо моста 6 компенсационного сопротивления, изготовленного из того же НК, что и исследуемый. Общая относительная погрешность измерения сопротивления составляла 0,001%.

В качестве задающего источника импульсов использовался генератор 9. Общая схема импульсов приведена на рис.2. Частота их следования $\gamma = 100$ Гц. Амплитуда и длительность τ импульсов могли меняться как плавно, так и ступенчато, обеспечивая заданную скважность, напряжение, силу и плотность тока.

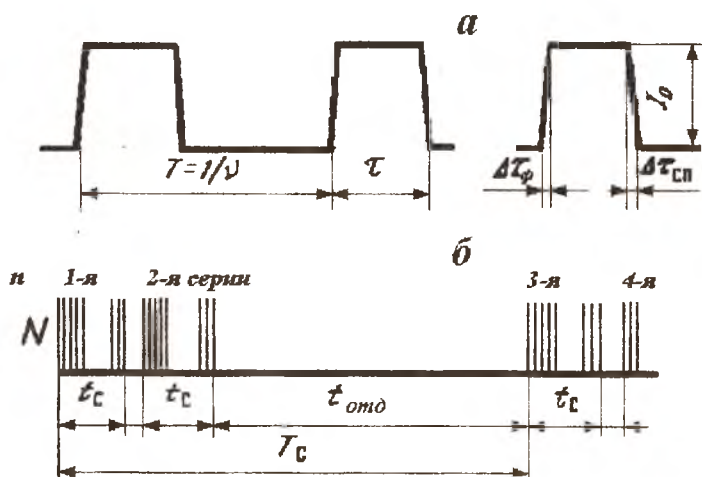


Рис.2.

На исследуемые образцы воздействовали сериями импульсов тока. Продолжительность каждой серии $t_c = 4$ часа, число импульсов $N = 1,44 \cdot 10^6$. В конце каждой серии осуществлялся контроль электросопротивления НК в течение $t_k = 5-10$ мин. После четной серии импульсов образец отдыхал, т.е. не подвергался воздействию импульсов тока, время отдыха

$t_{\text{отд}} = 16$ ч. При этом упругая деформация в образце сохранялась. Период следования нечетных либо четных серий импульсов электрического тока был равен $T_c = 24$ ч. Все испытания проводились при 300 К в отсутствие внешних источников тепла.

В зависимости от выбранных условий эксперимента наблюдались различные случаи влияния импульсов тока и осевой нагрузки растяжения на структуру и свойства НК кремния. В условиях облегченного режима, т.е. при $\sigma_p \approx 10^6$ Па, больших скважностях, малых амплитудах и длительностях импульсов тока структура и свойства НК p-Si не претерпевают заметных изменений после сотен и тысяч часов воздействия импульсами тока с частотой 100 Гц. В условиях среднего режима, т.е. при $\sigma_p \approx 10^6$ Па, малых скважностях (до нескольких единиц) и значительных амплитудах импульсов тока (до 10^{-2} А) в течение длительного времени t_0 (десятки и сотни часов) в исходно бездислокационных НК p-Si $\langle 111 \rangle$ протекает инкубационный период, сопровождаемый высокой стабильностью структуры и свойств. После этого в отдельных НК может спонтанно наступить быстро развивающийся процесс пластического течения. Обнаружена заметная локализация пластического течения вдали от токовых контактов и как правило в одном очаге. Причем в области наиболее интенсивно развивающегося процесса пластичности наблюдается "шейка", т.е. утонение сечения НК. Оценки показывают, что в области "шейки" длиной в несколько диаметров НК степень пластической деформации может достигать сотен процентов. Этот экспериментальный факт свидетельствует, на наш взгляд, в пользу явления "сверхпластичности". Однако такое явление в НК кремния наблюдалось ранее только при высоких температурах испытания, выше 0,8 температуры плавления. В условиях еще более жесткого режима испытаний ($\sigma_p \sim 10^6$ Па, амплитуды импульсов до $2 \cdot 10^{-2}$ А) очаги пластичности в НК кремния, аналогичные описанным выше, появляются и за более короткий промежуток времени.

Металлографические исследования НК p-Si <111> после испытаний импульсами тока позволяют условно разделить его рабочую длину на пять основных областей, имеющих принципиально разные нарушения кристаллической структуры, геометрических размеров и формы. Геометрические размеры и форма области I в образце после испытания не обнаруживают изменений по сравнению с исходно бездислокационным НК. В области II (область микропластичности) НК металлографически обнаруживаются едва заметные следы, а в области III заметны грубые полосы скольжения, небольшие изменения размеров и формы. Степень пластической деформации здесь составляет единицы процентов. На границе областей I и II полосы скольжения едва различимы металлографически, а изменения геометрических размеров и формы не наблюдается. На границе III и IV областей наблюдается слабое уменьшение диаметра НК, а в области IV - существенное уменьшение диаметра и изменение его сечения от шестигранника до многогранника. При этом степень пластической деформации достигает нескольких десятков процентов. В области V наблюдается "шейка", протяженность которой равна 1 - 3 диаметра НК. Отмеченные выше особенности пластического течения НК кремния существенно зависят от условий испытания. В менее жестких условиях процесс развития пластичности более длительный, и пластическая деформация успевает распространиться на значительную НК, что должно свидетельствовать о заметном вкладе в ее развитие термических полей.

Оценки степени пластической деформации НК кремния в условиях воздействий импульсов электрического тока и осевой нагрузки растяжения, проведенные по данным методов металлографии, рентгенографии и травления, удовлетворительно согласуются. Они свидетельствуют о том, что формоизменение НК кремния в областях III-V связано с пластической деформацией всего объема образца.

В отсутствие импульсов электрического тока не только

бездислокационные, но и предварительно пластически деформированные НК $p\text{-Si}$ $\langle 111 \rangle$ при 300 К не обнаруживают макроскопической пластической деформации. Более того, эти НК при 300 К в условиях наличия слабого постоянного и малой амплитуды импульсного электрического тока не склонны к проявлению макроскопической пластической деформации. Однако при более высоких температурах в НК кремния обнаруживается макроскопическая пластическая деформация даже в отсутствие электрического тока.

МИКРОПЛАСТИЧНОСТЬ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ, СТИМУЛИРОВАННАЯ ИМПУЛЬСАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Дрожжин А.И., Ермаков А.П., Яценко С.Н.

*Воронежский государственный технический университет
394026 Воронеж, Московский просп., 14,
E-mail : nis@ns1.vstu.ac.ru*

АННОТАЦИЯ. Микропластичность в исходно бездислокационных нитевидных кристаллах кремния $\langle 111 \rangle$ зарождается и эволюционирует только в поверхностных слоях. Обнаружено семь уровней с существенно различными закономерностями зарождения и эволюции процесса.

В качестве образцов использовались нитевидные кристаллы (НК) $p\text{-Si}$, имеющие ориентацию оси роста $\langle 111 \rangle$, диаметр 30-100 мкм, рабочую длину 5-10 мм. НК имели форму шести- и двенадцатигранных призм. Боковая поверхность шестигранных НК была образована семейством плоскостей $\{112\}$ либо $\{110\}$, а двенадцатигранных - смешанным семейством плоскостей $\{112\}$ и $\{110\}$.

Деформировали НК растяжением, сжатием или изгибом в условиях равномерно распределенной вдоль его рабочей