

Список литературы

1. Пономарев А.Н. Технологии микромодификации полимерных и неорганических композиционных материалов с использованием наномодификаторов фуллероидного типа // Труды международной конференции ТПКММ, Москва, 27 – 30 августа 2003 г. С. 508 – 518.
2. Королев Е. В. Модифицирование строительных материалов нанокремнекислотными трубками и фуллеренами / К. В. Королев, Ю. М. Бажанов, В. А. Береговой // Строит. материалы. 2006. № 9. / Наука. № 8. – С. 2–4.
3. Низина Т. А. Оптимизация свойств эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами / Т.А. Низина, П.А. Кисляков // Строит. материалы. 2009. №9. – С. 78–80.

ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАННАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

Алиев М. А. Чартаев Х. Ш.

Махачкалинский филиал МАДИ, Махачкала
Bukilal@mail.ru

Изучение диффузионных, деформационных и дислокационных процессов как самостоятельных разделов физики не дали ответа на многие вопросы, возникшие при анализе структурно - чувствительных свойств кристаллов. В последние годы, благодаря предложенному новому методико-технологическому подходу, удалось объединить и изучить все три физических процесса в одном эксперименте, одновременно реализуя их и на одной установке и на одном образце.

Экспериментальные исследования, проведённые нами по новой вышеназванной технологии формирования взаимосвязи "структура-состав-свойство" позволили за счет наличия высоких деформационно-диффузионных потоков и сил, обусловленных ими, обеспечить их взаимодействие в динамическом режиме и получить новые качественные изменения физико-механических свойств кристаллов кремния.

Деформацию производили двумя способами: в условиях внешнего нагрева образца (термопластическая деформация - ТПД), в условиях прохождения электрического тока через образец (Электропластическая деформация – ЭПД). Объектами исследования были монокристаллы кремния n-типа проводимости (низкоомные) в виде параллелепипедов с разными типоразмерами, сдвиговыми усилиями, интенсивностью нагружения.

Деформация осуществлялась вдоль направлений [110], одноосным сжатием в вакууме, в основном режиме динамического нагружения, с переходом в статический режим для выявления запаса прочности.

На рис.1 (кривые 1,2,3) приведены зависимости напряжение-деформация $\sigma(\epsilon)$ для трех образцов монокристаллического кремния n-типа проводимости, при двух различных режимах их реализации интенсивности нагружения V_n и геометрическом размерном коэффициенте ϕ . Как видно по ходу кр.(1-3) на рис.1, наблюдаются заметные изменения таких, казалось бы грубых параметров кристаллической решетки как прочность и пластичность, в зависимости от вариации величины параметров внешних деформационных воздействий. Изменяется и величина упругой области с изменениями интенсивности нагружения I_n и геометрического коэффициента ϕ . Для образца №1 с $\phi=0,9$ упругая область доходит до $\sigma_y = 1,8 \text{ кг/мм}^2$, тогда как при $\phi=0,7$ величина упругой области составляет величину $\sigma_y = 0,4 \text{ кг/мм}^2$. С увеличением интенсивности нагружения V_n можно уменьшить и величину σ_y .

Таким путем удалось уменьшить упругую область для образца №3. Несмотря на увеличение длины образца №3 на 30% по сравнению предыдущим, двукратное увеличение интенсивности нагружения привело к уменьшению упругой области на 60% (ср. кривые 1 и 3 рис. 1). Обращает внимание на прерывистость характера хода кривых со ступенчато-стадийными особенностями их образования. Наибольший разброс значений коэффициентов упрочнения γ (10 и 7) и скорости деформирования $\dot{\epsilon}$ наблюдается для образца №2 с меньшей интенсивностью нагружения и геометрического коэффициента.

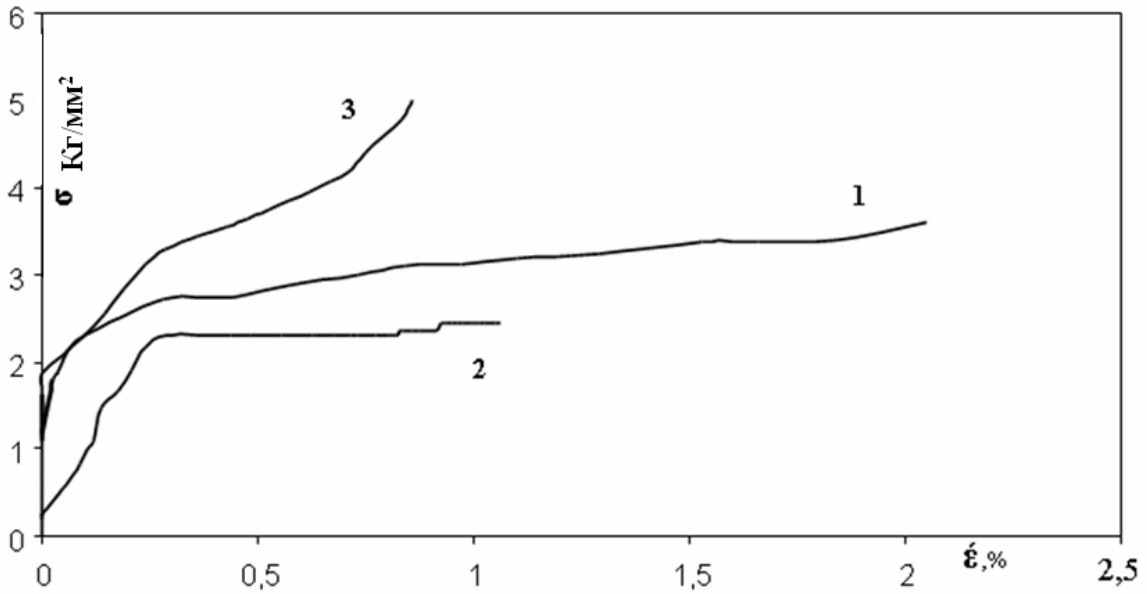


Рис. 1. Зависимость напряжение–деформация $\sigma(\epsilon)$ для образцов n-Si, деформированных при параметрах: 1) $T = 800^\circ\text{C}$, $h = 16\text{mm}$, $V_H = 50\text{г/с}$. 2) $T = 800^\circ\text{C}$, $h = 16$, $V_H = 50\text{г/с}$, 3) $T = 750^\circ\text{C}$, $h = 21\text{mm}$, $V_H = 300\text{г/с}$

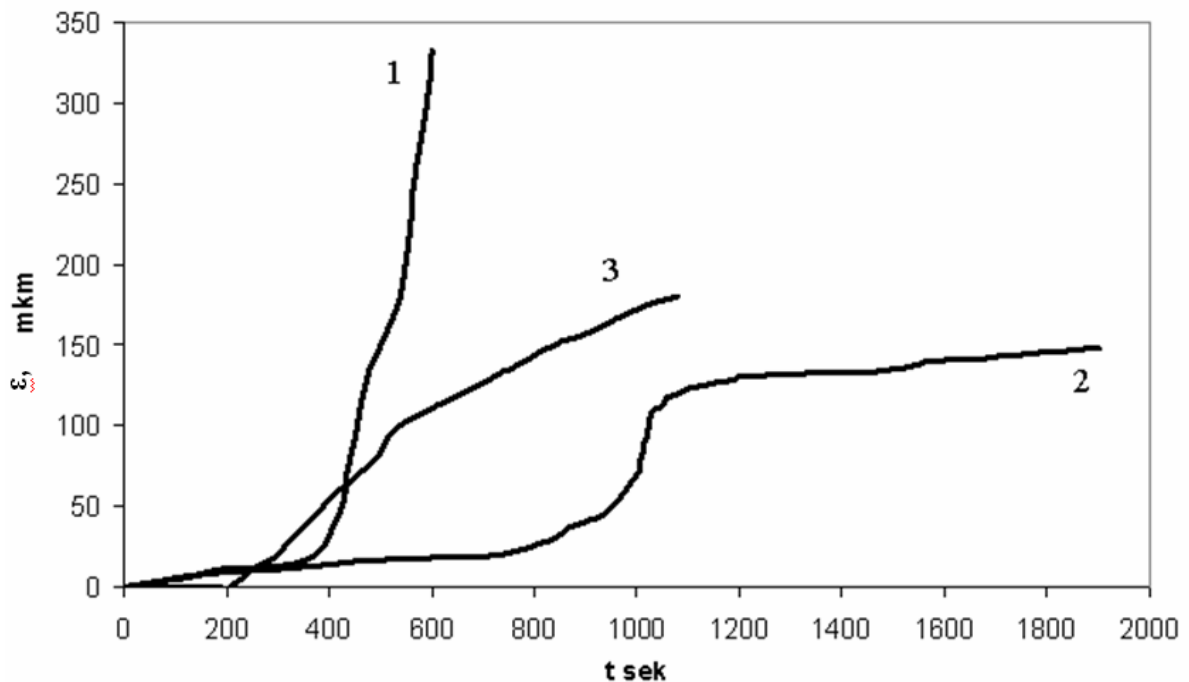


Рис. 2. Зависимость деформация–время $\epsilon(t)$ для образцов n-Si, приведенных на рис.1

На рис.2 приведены зависимости $\epsilon(t)$ в том же динамическом режиме деформирования, снятого параллельно с зависимостью $\sigma(\epsilon)$, в записи временной развертки. По наклону кривых 1-3 видно наличие нескольких различных скоростей деформирования, различающихся даже для одного образца на величину, превышающую полпорядок.

Несмотря на малые величины усилия σ , температуры T и времени деформирования t , деформация в динамическом режиме не завершалась, что подтвердилось при переходе в статический режим. Разница между деформацией в динамическом режиме и общей величиной достигнутой деформации наблюдается на всех образцах.

Отличительными и преимущественными особенностями нового подхода деформирования являются появление возможности значительного понижения основных параметров внешнего воздействия на кристалл - стартового напряжения, температуры и времени деформирования.

В случае ЭПД-способа удается снизить термический вклад, увеличив аттермическую компоненту. Экспериментально показано, что монокристаллы при электропластической деформации сокращаются не непрерывно, а скачкообразно, что приводит кривые зависимости $\sigma(\epsilon)$ и $\epsilon(t)$ к ступенчатому ходу, характерному для волнообразного процесса пластической деформации

Допуская, что дислокации являются энергетически пульсирующими дефектами, важно реализовать механофлуктуационную (низкотемпературную) часть деформации, где преобладает чисто дислокационный вклад в отличие от термофлуктуационной.

Отличие нового способа деформирования кристаллов от традиционно применявшихся ранее способов состоит в том, что в ЭПД – способе все структурные носители перестраиваются в динамические потоки и силы определенного направления. В электрическом поле на дефекты действуют две силы – механическая и электрическая и высота потенциального барьера оказывается пониженной. Структурные носители, приобретая направленное движение, могут влиять на характер движения и взаимодействия всех участников процесса.

При синергетическом подходе спектр влияния внешних параметров воздействия в неравновесном состоянии становится значительно богаче и информативнее, чем в равновесном.

Электропластическая деформация есть диссипативный процесс. Диссипация противостоит разрушению. Поле напряжений воздействует на структуру кристалла так, что может начаться несколько механизмов диссипации, уменьшая воздействия поля сдвиговых напряжений.

Именно о существенной роли и влиянии подсистемы говорит и тот факт, что изменение параметров подсистемы осуществляется электропластическим способом деформации. ЭПД - способ помог реализовать механо-флуктуационный способ возбуждения электронных связей, сводя к минимуму решеточное тепловое возбуждение, мешающее получению эффекта в чистом виде. В ЭПД случае электронный газ из пассивной и тормозящей среды превращается в среду, имеющую направленный дрейф и по этому ускоряет движение и взаимодействие дислокаций.

Предложенный новый способ исследования механических характеристик полупроводниковых материалов, заключающийся в том, что процесс пластической деформации кристалла сопровождается одновременным прохождением электрического тока значительной плотности по кристаллу. можно использовать не только как метод исследования, но и как технологический приём.