

## ЛИТЕРАТУРА

1. Recent progress in visible light-doped ZnO photocatalyst for pollution control [Electronic Resource] / A.L.T. Zheng [et al.] // *Int. J. Envir. Sci. Technol.* – 2022. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04354-x>. – Data of access: 08.10.2022.
2. A survey of photocatalytic materials for environmental remediation / A. Di Paula [et al.] // *J. Hazard. Mater.* – 2012. – Vol. 211–212. – P. 3–29.
3. Enhanced photodegradation of methyl orange dye under UV irradiation using MoO<sub>3</sub> and Ag doped TiO<sub>2</sub> photocatalysts / S. Rader [et al.] // *Environmental Technology & Innovation.* – 2022. – Vol. 27. – P. 102476.
4. Heterogeneous photocatalytic treatment of organic dyes in air and aqueous media / K. Rajeshwar [et al.] // *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews.* – 2009. – Vol. 9, № 4. – P. 171–192.
5. Plasma methods for preparing green catalysts: Current status and perspective / C.-J. Liu [et al.] // *Chin. J. Cat.* – 2016. – Vol. 37, № 3. – P. 340–348.
6. An Overview on the Photocatalytic Activity of Nano-Doped-TiO<sub>2</sub> in the Degradation of Organic Pollutants / Y.N. Tan [et al.] // *ISRN Materials Sci.* – 2011. – Vol. 2011. – P. 1–18.
7. Effect of impregnation by silver nanoparticles on the efficiency of plasma-treated ZnO-based catalysts / N.A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes.* – 2020. – V. 24, № 1. – P. 21–45.
8. Effect of impregnation by silver nanoparticles on the efficiency of plasma-treated ZnO-based catalysts / N.A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes.* – 2020. – V. 24, № 1. – P. 21–45.
9. A comparative study on photocatalytic activity of ZnO-based photocatalysts treated by dielectric barrier discharge plasma / N.A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes.* – 2020. – V. 24, № 4. – P. 275–291.

**В.С. САВЕНКО, ЧЭНЬ ЯНЦЫ, И.В. ХОМУТОВСКИЙ**  
УО МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

## ДЕЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ

Электропластичность в металлах реализуется при пропускании импульсов тока высокой плотности порядка  $10^3 \text{ A/mm}^2$  длительностью  $10^{-4} \text{ с}$  во время пластической деформации через электропроводящие материалы, которая получила название электропластический эффект (ЭПЭ). ЭПЭ стимулирует деформационные процессы, уменьшает усилия деформации, энергопотребление, улучшает физико-механические и служебные характеристики материала. Возбуждение электронной подсистемы металла импульсами тока, для реализации электропластичности в металлическом образце, нагруженном выше предела текучести, приводит к возникновению дополнительных деформационных процессов за счет пондеромоторных эффектов, обуславливающих ультразвуковые колебания кристаллической решетки в различных кристаллографических направлениях [1–2].

Ряд авторов объясняет механизмы электропластической деформации электронно-дислокационным взаимодействием, давлением «электронного ветра» на скопление дислокаций, точечных дефектов, уменьшением стартовых напряжений для срыва дислокаций со стопоров, действием термических и нетермических разупрочнением металлов [2].

Рассмотрим механизм единой модели стимулирования пластичности проводящих материалов (полупроводников, металлов) на основе известных экспериментальных фактов. Основопологающим данного механизма является общеизвестный факт зависимости пластичности материалов от делокализации валентных электронов атомов, составляющих кристаллы [3].

Рассмотрим модель краевой дислокации для элемента второй подгруппы IV группы периодической системы кремния (рисунок 1). Ковалентная связь, которая является локализованной и направленной, изображена в виде черточек. Атомные остовы и валентные электроны расположены в кристалле, в том числе в ядре дислокации, таким образом, что электростатическое отталкивание в кристалле минимально [2]. При приложении скалывающего напряжения экстраплоскость перемещается по кристаллу. При этом происходит перестройка атомов в ядре дислокации. Атомы переходят в другие позиции с разрывом и восстановлением связи. Однако при этих перемещениях атомов очевидно, что возрастает кулоновское отталкивание между атомами, так как ковалентная связь является строго направленной.

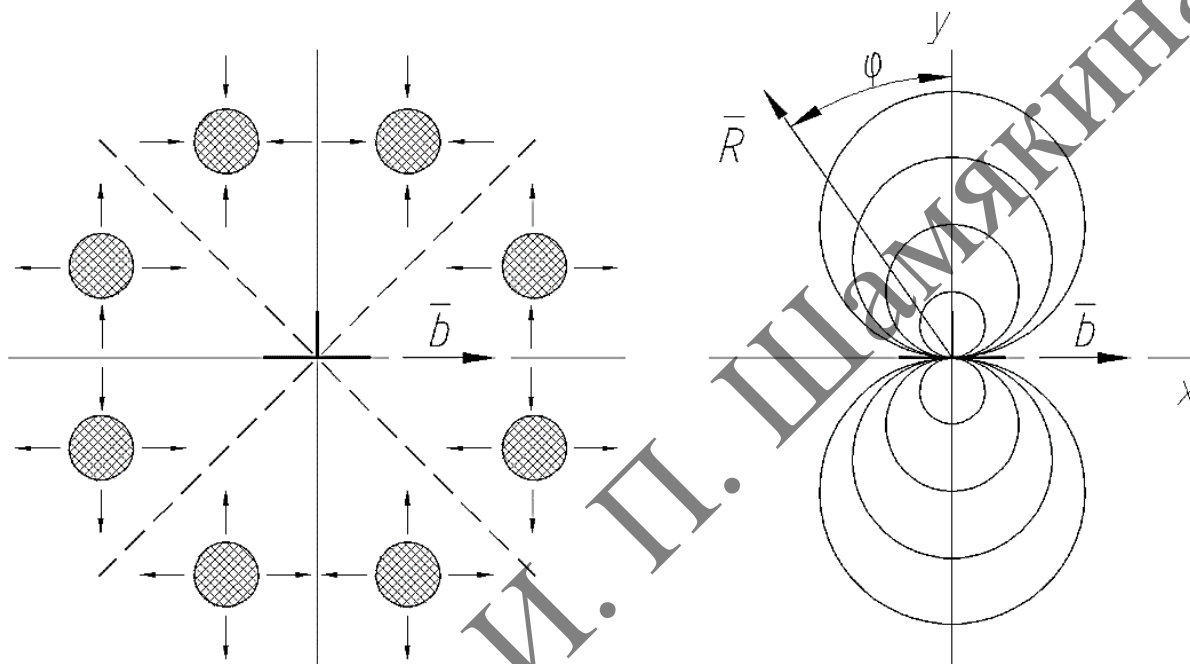


Рисунок 1 – Поле напряжений вокруг краевой дислокации и вид деформационного потенциала

Рассмотрим металлическую связь как предельный случай ковалентной связи с точки зрения делокализации внешних валентных электронов атомов, составляющих кристалл, когда электронная плотность максимальна между двумя соседними атомами и не равна нулю в остальных точках межатомного пространства (говорят об электронном газе). Следовательно, при перемещении атомов  $1 \rightarrow 1'$  и  $2 \rightarrow 2'$  делокализованные валентные электроны экранируют электростатическое отталкивание, возникающее при перестройке структуры в ядре дислокации. Используя это представление, можно легко объяснить фотомеханический эффект в полупроводниках. Связанные электроны, поглощая от фотона энергию (здесь и постоянные Планка, и частота фотона), переходят в «свободное состояние», или, с точки зрения пространственного распределения, делокализуются. Электрическое поле делокализованных электронов экранирует электростатическое отталкивание положительных ионов при перестройке атомной структуры в ядре дислокации и уменьшает величину электростатических стопоров при движении дислокации. Таким образом, делокализованные электроны уменьшают стартовые напряжения, выполняя роль «смазки» при движении дислокации, а также уменьшая скалывающее напряжение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Механизмы влияния электромагнитных полей на деформацию металлов / В.С. Савенко [и др.] // Вестн. БГУ. Сер. 1. – 1995. – С. 27.

2. Электропластический эффект при одновременном наложении электрического и магнитного поля в монокристаллах висмута / В.С. Савенко [и др.] // Вестн. БГУ. Сер. 1. – 1995. – № 2. – С. 27–30.

3. Электропластический эффект при одновременном наложении электрического и магнитных полей в области больших плотностей тока/ В.С. Савенко [и др.] // Вестник БГУ. Сер. 1. – 1996. – № 2. – С. 25.

**В.С. САВЕНКО, ЧЭНЬ ЯНЦЗЫ, И.В. ХОМУТОВСКИЙ**  
УО МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

## **К ВОПРОСУ ЭЛЕКТРОН-ДИСЛОКАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ**

подавляющее большинство материалов пластической деформации реализуется путем эволюции совокупностей дислокаций при внешних энергетических воздействиях. Возникающий электропластический эффект при действии одиночными импульсами тока во время деформации кристаллов растяжением и сжатием проявляется в скачкообразных удлинениях образцов при прохождении импульса тока без какого-либо существенного теплового эффекта и тепловой дилатации образцов. Электропластический эффект обусловлен ускорением пластического течения металла потоком электронов проводимости, которые находятся в дрейфовом движении под влиянием электромагнитного поля или действием «электронного ветра» внутри деформируемого металла, то есть помимо джоулевого тепла, свободные электроны оказывают особое электропластическое воздействие на материал, находящийся под механическими напряжениями выше предела текучести [1–3].

Для объяснения перечисленных выше эффектов применяются различные модели, которые, на наш взгляд, не лишены недостатков. Большинство авторов объясняют электропластический эффект теорией «электронного ветра» [1], суть которой заключается в увлечении движущихся в процессе пластической деформации дислокаций, дрейфующими под действием электрического поля электронами проводимости. Этот эффект достигается за счет электростатического взаимодействия движущихся электронов и заряженных дислокаций причем лучший результат достигается в случае импульсного электрического поля, так как возникающие в данном случае плазмоны передают импульс стоящим на стопорах дислокациям. Оценка дрейфовой скорости электрона в цинке при плотности тока  $10^3 \text{ А/мм}^2$  дает значения этой скорости 19 см/с, в то же время средней энергии Ферми отвечает скорость электронов порядка  $10^7\text{--}10^8 \text{ см/с}$ , из этого следует, что тепловые флуктуации электронного газа практически снимают воздействие дрейфового движения электронов на дислокации.

Одним из главных аргументов в пользу теории «электронного ветра» является эффект полярности ЭПЭ. С точки зрения этой теории при определенной полярности включения тока дислокации увлекаются дрейфующими электронами, а при обратном включении тормозятся. Показано, что электрический ток большой плотности интенсифицирует работу источников дислокаций для проверки этой модели проводится эксперимент по установлению обратного эффекта – увлечению электронов движущимися дислокациями. Полученная разность потенциалов составляла несколько десятков микровольт, что может быть обусловлено наличием градиентов температур во время механической обработки [3].

Согласно другой модели ЭПД, в образце при пропускании через него сильного электрического тока происходит сильный локальный разогрев в областях, содержащих дефекты кристаллической структуры материала (дислокационные скопления, микротрещины, границы зерен), до нескольких тысяч градусов при относительно небольшом интегральном нагреве. Возникает мозаичное поле температур, которое способствует релаксации локальных