ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДИСЛОКАЦИЙ С ТОЧЕЧНЫМИ ДЕФЕКТАМИ

Малашенко В.В.
Донецкий национальный технический университет, ул. Артема, 58
Донецк 83000, Украина;
Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, Донецк 83114; E-mail: malashenko@kinetic.ac.donetsk.ua

Пластическая деформация кристалла является, как известно, результатом перемещения дислокаций под действием приложенных внешних напряжений. Во время этого движения дислокации взаимодействуют с локальными барьерами, создаваемыми примесями, вакансиями, междоузельными атомами и другими точечными дефектами. Исследованию влияния точечных дефектов, хаотически распределенных в объеме кристалла, на скорость скольжения дислокаций в динамической области был посвящен целый ряд работ [1-3]. Однако особый интерес представляет вопрос о торможении дислокаций точечными дефектами поверхности, поскольку, во-первых, все реальные кристаллы имеют конечные размеры, во-вторых, современные технологии позволяют наносить примеси на поверхность кристалла контролируемым образом, что дает возможность оказывать целенаправленное влияние на свойства тонких пленок. В работах [4,5] исследовалось движение одиночных дислокаций в поле поверхностных точечных дефектов. Однако сама поверхность, также являясь дефектом кристаллической структуры, способна оказывать существенное влияние на взаимодействие дефектов с дислокацией, поскольку ее наличие приводит к появлению сил изображения. Пусть краевая дислокация параллельная оси 0Z с вектором Бюргерса $(b,0,0)$ под действием постоянного внешнего напряжения σ_0 движется в положительном направлении оси OX с постоянной скоростью v параллельно свободной поверхности кристалла, совпадающей с плоскостью $y=0$, на которой случайным образом распределены точечные дефекты. Положение дислокации определяется функцией *X(z,t)= vt + w(z,t)*, где *w(z,t)* –случайная величина, описывающая малые колебания элементов дислокации относительно ее ”центра масс” в плоскости дислокационного скольжения. Уравнение движения дислокации имеет вид

$$m\left\{\frac{\partial X(z,t)}{\partial t^2}+\delta\,\frac{\partial X(z,t)}{\partial t}-c^2\,\frac{\partial^2 X(z,t)}{\partial z^2}\right\}=b\left[\sigma_0+\sigma_{xy}^S+\sigma_{xy}^d(vt+w;z)\right],\qquad(1)$$

где σ_{xy}^S - компонента тензора напряжений, создаваемых дислокацией изображения, $\sigma_{xy}^{(d)}$ - соответствующая компонента, создаваемая i-м точечным дефектом поверхности на линии дислокации, $\sigma_{xy}^{(d)}=\sum_{i=1}^{N}\sigma_{xy,i}^{(d)}$, m - масса единицы длины дислокации, N - число дефектов на поверхности кристалла, c - скорость распространения поперечных звуковых волн. Для построения изображения дислокации воспользуемся методами, изложенными в [6].

Компоненты тензора напряжений, создаваемых поверхностными дефектами, получим, используя результаты работы [4]

$$\sigma_{xy}(\overline{r})=-\frac{1}{2}\mu R_d^3\chi_s\,\frac{\partial^2}{\partial y\partial x}\frac{z^2}{r^3}.\qquad(2)$$

Здесь μ - модуль сдвига, χ_s - параметр несоответствия поверхностного дефекта, R_d - величина порядка радиуса дефекта. Фурье-образ данной компоненты определяется выражением

$$\sigma_{xy}(q_x, q_z, y) = \frac{2}{\pi} i\mu R_d^3 \chi_s q_x \exp(-qy)\cdot(1-qy). \qquad q = \sqrt{q_x^2 + q_z^2}. \tag{3}$$

Сила торможения дислокации точечными дефектами в соответствии с результатами работы [4] вычисляется по формуле

$$F = \frac{2n_S b^2 \mu^2 \chi_s^2 R_d^6}{\pi^3 mcvy^3} \int d^3q |q_x| |\sigma_{xy}(q)|^2 \delta\left\{q_x^2 \upsilon^2 - \varepsilon^2(q_z)\right\}. \tag{4}$$

Здесь $\varepsilon(p_z)$ - закон дисперсии дислокационных колебаний, n_S – поверхностная концентрация точечных дефектов. Исследуемый в настоящей работе механизм диссипации заключается в необратимом переходе кинетической энергии поступательного движения дислокации в энергию малых колебаний дислокационных элементов относительно “ центра масс” дислокации. Анализируя динамическое торможение дислокации точечными дефектами в различных интервалах скоростей, приходим к выводу о существовании критического расстояния y_0 от дислокации до свободной поверхности, при котором происходит существенное изменение характера торможения дислокации. Величина этого расстояния обратно пропорциональна скорости дислокационного скольжения $y_0 \approx cb/v$. В области расстояний малых расстояний $y < y_0$ эта сила обратно пропорциональна скорости скольжения

$$F = \frac{n_S b^2 \mu^2 \chi_S^2 R_d^6}{mcvy^3}. \tag{5}$$

В области $y > y_0$ сила торможения экспоненциально мала

$$F = \frac{n_S b^2 \mu^2 \chi_S^2 R_d^6}{m} \cdot \frac{c^4}{y^3 v^6} \cdot \exp(-c/v). \tag{6}$$

Величина критического расстояния y_0 для скоростей $v \approx 10^{-1}c$ составляет $y_0 \approx 10b$, для скоростей $v \approx 10^{-2}c$ она имеет порядок $y_0 \approx 100b$.

Таким образом, наличие свободной поверхности кристалла приводит к уменьшению силы торможения дислокации точечными дефектами.

Список литературы

1. Альшиц В. И., Инденбом В. Л. УФН **115**, *1*, 3(1975).
2. Малашенко В.В. ФТТ **29,** *5*, 1614(1987).
3. Malashenko V.V., Sobolev V.L., Khudik B.I. Phys. Stat. Sol. (b) **143**, *2*, 425(1987).
4. Malashenko V.V., Sobolev V.L., Khudik B.I. Phys. Stat. Sol. (b) **144**, *3*, 463(1987).
5. Малашенко В.В., Малашенко Т.И. ФТВД **14**, *2*,45(2004).
6. Хирт Д., Лоте И. Теория дислокаций. Наука, М. (1972). 599 с