

# Конкуренція механізмів блокування рухливих дислокацій центрами закріплення різного типу в іонних кристалах

О.М. Петченко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,  
Україна  
E-mail: gdaeron@ukr.net

Анотація - метою даної роботи є встановлення границь ефективності моделі Гранато-Люкке щодо опису фізичних процесів термічної активації рухливості дислокацій у кристалах.

Проаналізовано експериментальні дані досліджень імпульсним методом в області частот 7,5...232,5 МГц впливу попередньої деформації  $\varepsilon$  у діапазоні 0,23... 1 % і температури в інтервалі 77...300 К на локалізацію частотних спектрів  $\Delta f$  дислокаційного декременту поглинання ультразвуку та динамічні ( $B$ ) і структурні характеристики ( $L$ ,  $A$ ) кристалів KBr. Простежено конкуренцію сильних і слабких стопорів у процесах блокування рухливих дислокацій у досліджуваних кристалах. Встановлено граничне значення  $\varepsilon = 2,25$  %, вище якого термічна активація процесів відкріплення рухливих дислокацій від стопорів Фриделівського типу повністю маскується більш ефективними процесами закріплення дислокацій вузлами дислокаційної сітки (стопорами Мотта). За нашими оцінками при  $\varepsilon$ , менших за вказане граничне значення, дія термічної активації може бути помітною і, відтак, зовнішні чинники, що впливають на дислокаційну структуру кристалів (опромінення, магнітна обробка, змінний хімічний склад зразків) можуть бути досліджені шляхом вивчення впливу температури на розблокування рухливих дислокацій відповідними стопорами. Для  $\varepsilon$  від 2,25 % і більше тонкі структурні експерименти стануть неефективні через сильний фон закріплення дислокацій дислокаціями "лісу" і маскування дії слабких стопорів типу Фриделя сильними стопорами типу Мотта. Проведений аналіз може бути корисним для дослідників, що вивчають вплив різних чинників на рухливість дислокацій у кристалах. Попереднє деформування досліджених зразків є обов'язковою процедурою, так як вона дозволяє ввести у кристал рухливі ("свіжі") дислокації, але значення  $\varepsilon$  не має перевищувати визначену нами межу. У протилежному випадку всі досліджувані процеси будуть повністю маскуватися сильними процесами закріплення рухливих дислокацій дислокаціями "лісу".

*Ключові слова - динаміка дислокацій, амплітудно-незалежне внутрішнє тертя; частотні спектри дислокаційного поглинання ультразвуку; попередня деформація; процеси відкріплення, центри закріплення Фриделівського типу; стопори Мотта.*

## I. ВСТУП

Температурний хід коефіцієнта  $B$  намагались вивчати багато авторів як на металах, так і на ЛГК [1–11]. Переважна більшість цих робіт виконана методом спостере-

Г.О. Петченко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
Україна  
E-mail: gdaeron@ukr.net

ження за рухливістю індивідуальних дислокацій, смуг ковзання, а також за результатами високошвидкісного деформування кристалів. Найбільш надійним методом [1–3], що дозволяє вивчати фонон-дислокаційну взаємодію у кристалах, розгляд якої безпосередньо базується на результатах дослідження температурної поведінки параметра  $B$ , є метод амплітудно-незалежного внутрішнього тертя. У роботах [12–17] авторам вдалось отримати досить надійні результати, за допомогою яких було виконано перевірку струнної дислокаційної теорії Гранато-Люкке [1] і квантово-механічної теорії динамічного гальмування дислокацій Альшиця-Інденбома [2]. Результати [12–17] показали, що динамічне гальмування дислокацій у досліджуваних кристалах KBr в інтервалі температур 77... 300 К лімітується суперпозицією двох фононних механізмів: фононного вітру і релаксації "повільних" фононів. Також було вивчено вплив дислокаційної структури зразків в інтервалі змінної густини дислокацій  $A = 2,2 \cdot 10^9 \dots 13 \cdot 10^9 \text{ м}^{-2}$  на абсолютну величину  $B$  і її температурний хід у зазначеному температурному інтервалі. Виявилось, що для температур інтервалу від азотної до кімнатної константа динамічного гальмування дислокацій  $B$  не залежить від густини рухливих дислокацій  $A$  у досліджуваних кристалах. Цей результат має неабияке значення, так як у жодній лабораторії світу не вивчалась проблема впливу густини рухливих дислокацій на температурний хід величини  $B$ , і, відтак, на ефективність дії тих чи інших фононних механізмів у кристалах. Вирішення цієї проблеми і експериментальний доказ того факту, що температурний хід динамічного гальмування дислокацій у кристалах є незмінним при варіюванні параметру  $A$ , надає значні можливості для подальшого розвитку дислокаційної теорії на підставі узагальнення експериментальних даних, одержуваних у різних лабораторіях на однакових кристалах. Справа у тому, що при підготовці зразків до досліджень всі наукові школи використовують власні технологічні нароби і експериментальні прийоми, у результаті чого є певні незручності при намаганні розглянути експериментальні результати різних лабораторій під єдиним кутом зору – відрізняється хімічний склад зразків (точки закріплення на дислокаціях), методи, умови і обладнання вирощування кристалів (різний рівень "ростових" дислокацій, різні технологічні схеми відпалу зразків, різні швидкісні режими деформаційних машин і тому подібне). Тобто – всі зразки мають різну дислокаційну структуру, різну власну "історію" приготування, і їх важко порівнювати і оцінювати за єдиною градацією. Але роботи [12–17] показали, що

всі ці відмінності є зовсім незначущими для загальної картини фононного гальмування дислокацій у кристалах.

З точки зору перевірки ефективності теорії [1] роботи [12–17] є корисними, загалом, через те, що вони були виконані на основі експерименту, постановка якого була здійснена в рамках моделі [1]. Струнна модель [1] передбачає два типи стопорів на дислокаціях – вузли дислокаційної сітки (стопори Мотта) і більш слабкі центри закріплення (стопори Фриделя). Відрив від стопорів Фриделя (домішок, в нашому випадку) відбувався через термічну або механічну (попередня деформація кристалів) активацію. Конкуренція цих механізмів і визначала рухливість дислокацій у наших досліджах.

Метою даної роботи є узагальнення результатів, одержаних в [12–17], для встановлення границь ефективності моделі [1] щодо опису фізичних процесів термічної активації рухливості дислокацій у кристалах.

## II. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботах [12–17] нами досліджувався задемпфований дислокаційний резонанс у монокристалах KBr із ступенями попередньої деформації  $\varepsilon = 0,23; 0,5; 0,75$  і 1 % у температурному інтервалі 77 ... 300 К з використанням поздовжніх хвиль у діапазоні частот 7,5 ... 232,5 МГц. Прецизійні вимірювання згасання УЗ-хвиль виконувались методом накладеної експоненти на монокристалах, орієнтованих вздовж кристалографічного напрямку  $\langle 100 \rangle$  на установці [18]. Наявність домішок у зразках, виявлена методами хімічного та спектрального аналізу складала (ваг.): Cu  $\sim 10^{-6}$ ; Mn, Ag  $\sim 10^{-5}$ ; Pb, Mg,

Al, Ti  $\sim 10^{-4}$ , Fe  $\sim 10^{-3}$ . З кристалів, вирощених за методом Кіропулоса, виготовлялись дослідні зразки, розмір яких орієнтовно складав  $18 \times 18 \times 30$  мм<sup>3</sup>. Розмір зразків урахував рекомендації авторів [19–21] щодо вибору їх геометрії – поперечного перерізу і довжини кристалу, що підлягає акустичним вимірюванням. Плоскопаралельність зразків відповідала рекомендаціям [20] і складала  $\pm 1$  мкм / см, що контролювалось оптиметром ІКВ. Схема відпалу зразків після механічної обробки для усунення внутрішніх напружень була такою: нагрів кристалів у муфельній печі МП-2УМ до температури  $\sim 0,8 \cdot T_{пл}$  (для досліджуваних кристалів – до температури 600 °С), витримка в часі при вказаній температурі і повільне охолодження зі швидкістю  $\sim 10$  °С/год. Тривалість відпалу складала приблизно від 15 годин. Температура контролювалась хромель-алюмелевою термопарою, підключеною до цифрового вольтметра В7-27. Технології деформування і низькотемпературних вимірювань зразків детально описані в [12–17].

## III. РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Результати досліджень [12–17] впливу температури в інтервалі 77...300 К на поведінку частотних спектрів дислокаційного поглинання  $\Delta_d(f)$  ультразвуку в зразках із різними величинами залишкової деформації і результативні дані, щодо зіставлення температурного ходу  $B(T)$ , розрахованого в рамках теорії Гранато–Люкке [1] з теоретичною кривою Альшиця–Інденбома [2], наведено на Fig. 1.

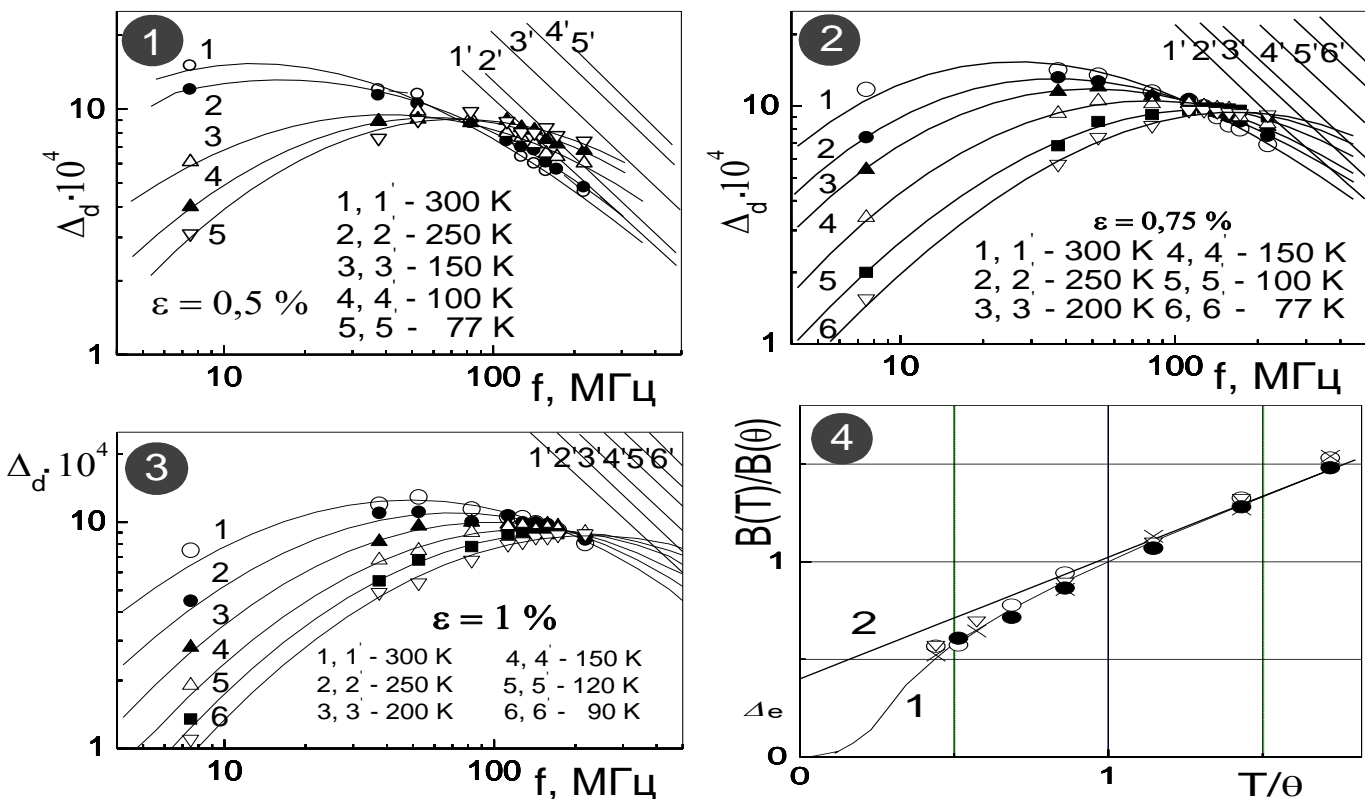


Fig. 1. Частотні залежності дислокаційного декременту для різних температур інтервалу 77 ... 300 К. Суцільні криві – теоретичні профілі (1–5) [1, 22], прямих ліній (1'–5') – їх високочастотні асимптоти; 4: зіставлення зведеного температурного ходу  $B(T)/B(\theta)$  з експериментальними даними для кристалу KBr (o - дані праць [12–13],  $\nabla, \times, \bullet$  - дані праць [14–17] для кристалів бромистого калія з деформаціями  $\varepsilon = 0,5, 0,75$  і 1 %); крива (2) - високотемпературна асимптота;  $\Delta_c$  – феноменологічний параметр теорії [2]

Можна бачити (Fig. 1), що експериментальні точки для кривих  $\Delta d(f)$  достатньо добре описуються теоретичним частотним профілем, отриманим авторами [22] для випадку експоненційного розподілу дислокаційних сегментів за довжинами, що згадується у теорії [1]. Також зберігається і тенденція зміщення частотних спектрів як за частотою – у бік вищих  $f$ , так і за амплітудою – у бік менших  $\Delta d$  при зниженні температури у досліджуваному інтервалі. Також видно (рис.1.4), що варіювання деформацією у зразках в інтервалі 0,23...1 % не призводить до змін  $V(T)$  і, відтак, не впливає на процес фонованого гальмування рухливих дислокацій у досліджуваних кристалах. Після встановлення температурного ходу  $V(T)$  стало можливим простежити за температурними змінами середньої ефективної довжини дислокаційного сегменту  $L$ . Величину  $L$  знаходили із співвідношень [1], що більш детально описано у [12–17]. Сімейство кривих  $L(T)$  для кристалів КВг з густиною дислокацій в інтервалі  $\Lambda = 2,2 \cdot 10^9 \dots 13 \cdot 10^9 \text{ м}^{-2}$ , що відповідають деформаціям інтервалу 0,23...1 %, наведено на Fig.2.

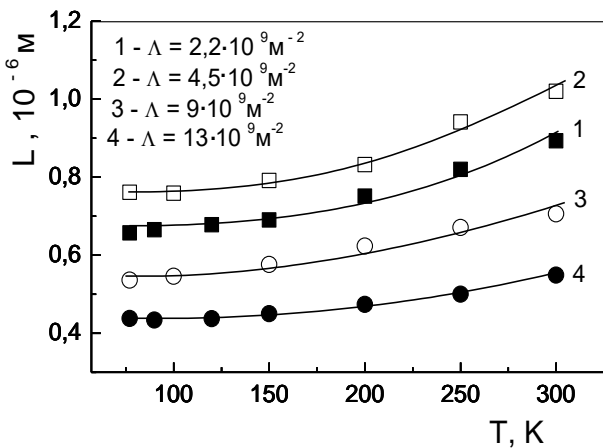


Fig. 2. Температурні залежності середньої ефективної довжини дислокаційного сегменту  $L$  для кристалів КВг з різною густиною дислокацій

Можна бачити, що тенденція до скорочення середньої ефективної довжини дислокаційного сегменту при зниженні температури для будь-якої величини залишкової деформації зразка зберігається. Утім, зміщення за висотою залежностей  $L(T)$  в умовах зростання деформації є немонотонним. Спочатку, при збільшенні деформації від 0,23 до 0,5 % спостерігаємо збільшення  $L(T)$  у область більших значень  $L$  (криві 1 і 2, рис. 3.16), а далі, при деформаціях 0,75 і 1 % знак у зміщенні змінюється на протилежний (криві 3 і 4, рис.3.16). Наведене сімейство кривих  $L(T)$  доводить, що ефект інверсійного зміщення частотних спектрів  $\Delta d(f)$  [12–17], викликаний деформуванням кристала, спостерігається для всіх температур інтервалу 77 ... 300 К. При детальному розгляді цих кривих було відзначено, що темп їх наростання з температурою для кристалів з різною густиною дислокацій є різним. Для кристалів з деформаціями 0,23 і 0,5 % (криві 1 і 2 на рис. 3.16) величина  $L$  збільшується у температурному інтервалі у 1,35 рази. Крива 3, що відповідає кристалам КВг з  $\epsilon = 0,75$  %, вже має меншу крутизну при зростанні температури - 1,31 рази, а крива 4 для КВг з  $\epsilon = 1$  % демонструє найменший приріст у  $L$

- усього 1,25 рази. Наведені тенденції мають очікуване фізичне пояснення. При незначних деформаціях (до 0,5 %), у кристалі активізовані лише первинні площини ковзання, і на дислокаціях є помітним ефект закріплення слабкими стопорами – точковими дефектами. При 0,75% у кристалі починають спрацьовувати вторинні системи ковзання і рух дислокацій починає обмежуватись, крім слабких, більш сильними стопорами – вузлами дислокаційної сітки. Тут ефекти взаємодії дислокації зі слабкими стопорами починають становитись менш помітними на фоні більш ефективного ефекту міждислокаційної взаємодії. Подальше збільшення деформації робить вказану сітку дислокацій ще більш щільною, тому ефект взаємодії дислокацій з точковими центрами закріплення маскується ще у більшій мірі. Можна припустити, що у дуже сильно деформованому кристалі залежність  $L(T)$  може піти і майже паралельно осі абсцис. Це буде відповідати сильно дислокаційному кристалу, у якого розмір довжини сітки Франка наближається до розміру дислокаційного сегмента, обмеженого точковими центрами закріплення.

Обробивши наші дані в рамках програми Origin 6.0 ми прийшли до висновку, що приріст  $\Delta L$  величини  $L$  із збільшенням ступеню деформації кристалів КВг зменшується за лінійним законом  $\Delta L = 1,45 - 0,2 \cdot \epsilon$ . Таким чином, при величині попередньої деформації кристалів  $\epsilon = 2,25$  %  $\Delta L$  складатиме 1, що буде відповідати нульовому приросту дислокаційного сегменту зі збільшенням температури. Відтак, маємо констатувати, що граничне значення  $\epsilon = 2,25$  % окреслює верхню межу інтервалу деформацій, у якому можна в принципі експериментально досліджувати конкуренцію закріплювальної для дислокацій дії стопорів типу Мотта і Фриделя [1, 23–24]. Вище цієї межі дислокації закріплені вузлами сітки Франка настільки, що процес їх відкріплення термічно не активується в інтервалі досліджених температур 77...300 К.

Експериментально це перевірити, скоріш за все, не вдасться. Якщо згадати, що при  $\Lambda = 13 \cdot 10^9 \text{ м}^{-2}$  (1 %) криві  $\Delta d(f)$  для низьких температур вже почали виходити своїми спадними гілками за межі діапазону 7,5...217, 5 МГц, можна передбачити, що навіть якщо вдасться зняти частотний спектр для сильно деформованого ( $\epsilon = 2,25$  %) кристала при кімнатній температурі, то про більш низькотемпературні дослідження мова йти не може.

Проведений аналіз може бути корисним для дослідників, що вивчають вплив різних чинників (опромінення [25–29], магнітна обробка і змінний хімічний склад зразків [30–40]) на рухливість дислокацій у кристалах. Попереднє деформування досліджених зразків є обов'язковою процедурою, так як вона дозволяє ввести у кристал рухливі ("свіжі") дислокації, але значення  $\epsilon$  не має перевищувати визначену нами межу. У протилежному випадку всі досліджувані процеси будуть повністю маскуватись сильними процесами закріплення рухливих дислокацій дислокаціями "лісу".

#### IV. ВИСНОВКИ

На основі аналізу і узагальнення даних, одержаних нами у попередніх роботах на кристалах КВг [12–17], було встановлено, що термічна активація процесів відк-

ріплення рухливих дислокацій від стопорів фриделівського типу будь-якої фізичної природи лімітується граничним значенням попередньої деформації досліджуваних кристалів. За нашими оцінками це значення складає  $\varepsilon = 2,25\%$ . При  $\varepsilon$ , менших за вказане граничне значення, дія термічної активації може бути помітною і, відтак, зовнішні чинники, що впливають на дислокаційну структуру кристалів (опромінення, магнітна обробка, змінний хімічний склад зразків) можуть бути досліджені шляхом вивчення впливу температури на розблокування рухливих дислокацій відповідними стопорами. Для  $\varepsilon$  від  $2,25\%$  і більше тонкі структурні експерименти стануть неефективні через сильний фон закріплення дислокацій дислокаціями “лісу” і маскування дії слабких стопорів типу Фриделя сильними стопорами типу Мотта [1].

#### ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] A. Granato, J. De Klerk, R. Truell. Dispersion of elastic waves in sodium chloride // *Phys. Rev.* 1957, V.108, № 3, P. 895 – 896.
- [2] V.I. Alshits, V.L. Indenbom. Dynamic drag of dislocations // *Usp. Fiz. Nauk.* 1975, V.115, № 3, P. 3 – 39.
- [3] V.I. Alshits, A.M. Petchenko. About temperature dependency of dynamic dislocation drag. *Mechanisms of internal frictions in solids*, M: “ Nauka”, 1976, P. 29 – 33.
- [4] V. Naundorf, K.Lücke. *Mechanisms of Internal Friction in Solids*. M.: Nauka, 1976, 91 p.
- [5] E.V. Darinskaya, A.A. Urusovskaya. About temperature dependency of viscous dislocation drag in LiF crystals // *FTT.* 1983, V. 25, № 6, P. 1892 – 1894.
- [6] V.B. Parijsky, S.V. Lybenets, V.I. Startsev. The mobility of dislocations in KBr single crystals // *FTT.* 1966, T.8, № 4, P.1227 – 1238.
- [7] V.B. Parijsky, A.I. Tretuyak. Temperature dependency of dislocation mobility in KBr single crystals // *FTT.* 1967, V. 9, № 9, P.2457 – 2468.
- [8] Yu.F. Boiko, C.V. Lubenets, L.S. Fomenko, N.M. Fedirenko. About study of dynamic properties of dislocations by the shock loading sample method // *Izv. Vyzov. Fizika.* 1978, № 7, P.129 – 131.
- [9] T. Suzuki, A. Ikushima, M. Aoki. Acoustic attenuation studies of the frictional force on a fast moving dislocation // *Acta met.* 1964, Vol. 12, № 11, P. 1231 – 1240.
- [10] I.V. Gektina, F.F. Lavrentyev, V.I. Startsev. Temperature dependency dislocation viscous drag coefficient mobility in Zn crystals // *Fizika metallov I metallovedenie* . 1974, V. 37, № 6, P. 1274 – 1277.
- [11] A. Hikata, J. Deputat, C. Elbaum. Dislocation interactions with phonons in sodium chloride in the temperature range 77–300 K // *Phys. Rev.* 1972, Vol. 6, № 10, P. 4008 – 4013.
- [12] V.P. Matsokin, G.A. Petchenko. Viscous dislocation drag in KBr crystals at 77 – 300 K // *Fizika Nizkikh Temperatur.* 2000, T. 26, № 7, P. 705 – 710.
- [13] G.A. Petchenko. Phonon damping of dislocations in potassium bromide crystals at different dislocation density values // *Functional Materials.* 2000, V. 7, № 4(2), P. 785 – 789.
- [14] A.M. Petchenko, G.A. Petchenko. Dynamic damping of dislocations with phonons in KBr single crystals // *Functional Materials.* 2006, V. 13, № 3, P. 403 – 405.
- [15] A.M. Petchenko, G.A. Petchenko. Features of resonance absorption of longitudinal ultrasound in strained crystals KBr at temperature variations // *Functional Materials.* 2007, V. 14, № 4, P. 475 – 479.
- [16] G.A. Petchenko, A.M. Petchenko. The dislocation resonance absorption of ultrasound in KBr crystals at low temperatures // *Functional Materials.* 2009, V. 16, № 3, P. 253 – 257.
- [17] A.M. Petchenko, G.A. Petchenko. Research of resonant losses of ultrasonic sound in the deformed single crystals in temperature range 77...300 K // *Problems of atomic science and technology.* 2007, № 6, P. 46 – 50.
- [18] A.M. Petchenko, D.L. Stroilova, V.I. Mozgovoy. *Synthesis and investigation of optical materials*. Kharkiv: “Institute of Monocrystals”, 1987, P. 133-139.
- [19] R.L. Roderick, R. Truell. The measurement of ultrasonic attenuation in solids by the pulse technique and some results in steel // *J. Appl. Phys.* 1952, Vol. 23, № 2, P. 267 – 279.
- [20] R. Truell, Ch. Elbaum, B. Chik. *Ultrasound methods in solid state physics*. Moskva: “Mir”, 1972. 307 p.
- [21] L.P. Blinov, A.E. Kolesnikov, L.B. Langans. *Acoustic measurements*. Moskva: “ Izdat. Standartov”, 1971. 271 p.
- [22] O.S. Oen, D.K. Holmes, and M.T. Robinson, *US AEC Report ORNL-3017.* 1960, № 3.
- [23] N.F. Mott. A theory of workhardening of metal crystals // *Phil. mag.* 1952, Vol. 43, № 346, P. 1151 – 1178.
- [24] J. Fridel. Anomaly in the rigidity modulus of copper allous for small concentration // *Phil. mag.* 1953, Vol. 44, № 351, P. 444 – 448.
- [25] G.A. Petchenko. The investigation of the dislocations resonant losses of ultrasonic sound in irradiated LiF single crystals in the interval of irradiation doses 0...400 R // *Problems of atomic science and technology.* 2012, № 2(78), P. 36 – 39.
- [26] G.A. Petchenko. Dynamic damping of dislocations in the irradiated LiF crystals // *Functional Materials.* 2012, V. 19, № 4, P. 473 – 477.
- [27] G.A. Petchenko. Research of the preliminary deformation and irradiation effect on the viscous damping of dislocation in LiF crystals // *Functional Materials.* 2013, V. 20, № 3, P. 315 – 320.
- [28] G.A. Petchenko. The study of dynamic and structural characteristics in irradiated LiF // *Problems of atomic science and technology*, 2013. № 2(84), P. 55 – 59.
- [29] G.O. Petchenko. Acoustic studies of the effect of X-ray irradiation on the dynamic drag of dislocations in LiF crystals // *Ukrainian journal of physics*, 2011, V. 56, № 4, P. 339 – 343.
- [30] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, R.K. Kotowski, E.A. Petrzhih, P.K. Tronczyk. Experimental studies and computer simulations of magnetoplastic effect // *Pol.J.Appl.Sci.* 2016, 2, P. 21 – 24.
- [31] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, R.K. Kotowski, E.A. Petrzhih, P.K. Tronczyk. Dislocation kinetics in nonmagnetic crystals: a look through a magnetic window // *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 2017, 60(30), P. 305 – 318.
- [32] V.I. Alshits, M.V. Koldaeva, E.A. Petrzhih, A.Yu. Belov, E.V. Darinskaya. Determination of the positions of impurity centres in a dislocation core in a NaCl crystals from magnetoplasticity spectra // *JETP Letters*, 2014, V. 99, № 2, P. 82 – 88.
- [33] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, E.A. Petrzhih. Electric stimulation of magnetoplasticity hardening in crystals // *JETP Letters*, 2008, V. 88, № 7, P. 428 – 434.
- [34] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, E.A. Petrzhih. Electric amplification of the magnetoplastic effect in nonmagnetic crystals // *Journal of applied physics*, 2009, 105, P. 1 – 9.
- [35] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, E.A. Petrzhih. Resonance magnetoplasticity in ultralow magnetic fields // *JETP Letters*, 2016, V. 104, № 5, P. 353 – 364.
- [36] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, E.A. Petrzhih. Anisotropic resonant magnetoplasticity of NaCl crystals in the Earth’s magnetic field // *Physics of the solid state*, 2013, V. 55, № 2, P. 358 – 366.
- [37] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, E.A. Petrzhih, S.A. Erofeeva. On the relation between thermally activated and magnetically stimulated processes during dislocation movement in InSb crystals in a magnetic field // *JETP*, 2006, V. 102, № 4, P. 646 – 651.
- [38] Yu.I. Golovin. Magnetoplastic effects in solids // *Physics of the solid state*, 2004, V. 46, № 5, P. 769 – 803.
- [39] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, S.A. Minyukov, E.A. Petrzhih, V.A. Morozov, V.M. Kats, A.A. Lukin, A.E. Naimi. Resonance magnetoplasticity in EPR scheme under ultralow magnetic fields // *Bulletin of the Russian academy of science*, 2014, V. 78, № 10, P. 1041 – 1051.
- [40] Mobility and interaction dislocations with impurity in crystals KCL:Ba<sup>2+</sup> / S.V. Lybenets, V.I. Startsev // *FTT.* 1968, T.10, № 1, P.23 – 28

# The competition of mechanisms of mobile dislocations blocking by various type stoppers in ionic crystals

O. Petchenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in  
Kharkiv,  
Ukraine

G. Petchenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in  
Kharkiv,  
Ukraine

The purpose of this paper is boundaries of the Granato-Lucke model's efficiency settlement for describe physical processes of the dislocation mobility thermal activation in crystals. The experimental data of pulsed-method research in the frequency range 7,5 ... 232,5 MHz of the preliminary deformation effect  $\varepsilon$  in the range of 0,23... 1 %, and at the temperature interval 77 ... 300 K on the frequency spectra localization  $\Delta_d(f)$  in the dislocation decrement of ultrasonic attenuation, as well as on dynamic (B) and structural characteristics ( $L$ ,  $A$ ) of KBr crystals is analyzed. The competition of strong and weak stoppers in the processes of blocking mobile dislocations in the investigated crystals is vividly traced. The limiting value of  $\varepsilon = 2,25$  % is established, above which the thermal activation of the mobile dislocations' detachment from Friedel type stoppers is completely masked by more efficient processes of fixing dislocations by dislocation network nodes (Mott stoppers). According to our estimates, for  $\varepsilon$ , less than the specified limit value, the effect of thermal activation can be noticeable and, therefore, external factors influencing the dislocation structure of crystals (irradiation, magnetic processing, changeable chemical composition of samples) can be investigated by studying of the thermal effect on the unlocking of mobile dislocations by means of appropriate stoppers. For  $\varepsilon$  from 2.25% or more, fine structural experiments will become ineffective due to the strong background of dislocations' blocking by the dislocations of the "forest" and the masking of weak Friedel-type pinning points' effect by strong Mott-type stoppers. The analysis can be useful for researchers studying the influence of various factors on the mobility of dislocations in crystals. The preliminary deformation of the investigated samples is a mandatory procedure, since it allows for the insertion of mobile ("fresh") dislocations into the crystal, but the value of  $\varepsilon$  must not exceed the limit specified by us. Otherwise, all the mentioned investigated facts will be completely masked by the strong processes of blocking the mobile dislocations by the dislocations of the "forest".

*Keywords - dynamics of dislocations; amplitude-independent internal friction; frequency spectra of dislocation absorption of ultrasound; pre-deformation; the processes of detachment; Friedel-type pinning points'; Mott-type stoppers.*