

В.Г. Литовченко

Алмазоподібні вуглецеві плівки – основа створення електронних приладів нового покоління

(ОГЛЯД)

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
пр. Науки, 45, м. Київ, 03028, Україна*

Підсумовано області використання алмазоподібних плівок: надвисокочастотні гострійні транзисторні, тиристорні та інші структури дискретної та інтегральної електроніки стабільні в умовах жорсткої радіації, механічних та електричних перевантажень. Розроблено технологічне устаткування для одержання алмазних /А/ та АПП плівок, формування гострійних матриць, проведена підготовча робота по виготовленню плоских гострійних дисплеїв та інше.

Ключові слова: високоефективні емісійні структури, радіаційно стійкі мікроелектронні системи, плоскі активні дисплеї, стабільні перетворювачі сонячної енергії, магніточутливі структури, сенсори радіації в широкому діапазоні спектра.

Стаття поступила до редакції 27.09.2003; прийнята до друку 23.12.2003.

ЗМІСТ

I. Вступ	9
II. Фізичні властивості алмазоподібних плівок (особливість конфігураційної структури алмазних плівок вуглецю)	10
III. Принципи формування алмазоподібних вуглецевих плівок	11
IV. Техніка нанесення плівок АВП	12
V. Властивості АППВ	12
5.1. Загальні характеристики	12
5.2. Зонна структура	13
5.3. Електричні властивості	13
5.4. Оптичні характеристики	13
VI. Висновки	14
VII. Перспективи Література	14 15

I. Вступ

Алмазні плівки на протязі багатьох десятиліть використовуються як один із найбільш важливих матеріалів в машинобудівній, хімічній та інших традиційних галузях для створення механічно-корозійно- та радіаційностійких матеріалів і приладів. Що стосується електроніки, то тут, не дивлячись на певні оптимістичні прогнози, даний матеріал знаходив дуже обмежену сферу застосування.

Ситуація різко змінилась на протязі декількох останніх років завдяки двом важливим обставинам:

1) виявлення ефекту гігантського зростання польової

/холодної/ емісії електронів з алмазних катодів, для яких має місце аномально низька робота виходу катодів;

2) розробки технології створення алмазоподібних (не строго алмазних по структурі) вуглецевих плівок (АППВ) з широким набором характеристик, які можна отримувати за допомогою декількох відносно простих технологій.

Ці досягнення одразу були широко використані в найбільш інтенсивно зростаючій галузі електроніки, а саме, у вакуумній електроніці. Остання, замість відносно малоефективних теплових термічних чи фотоемісійних методів генерації електронних потоків використовує польову емісію з гострійних катодів, радіус закруглення яких досягає десятків ангстремів.

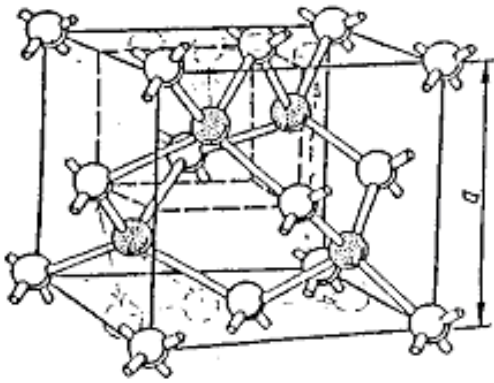


Рис. 1. Кристалічна структура алмазу.

Важливою проблемою тут завжди була польова ерозія. Використання високоміцних алмазних (алмазоподібних) покриттів ставить на реальну основу рішення цілої низки науково-прикладних проблем: створення високостабільних потужних та здатних працювати при невисокому вакуумі ефективних джерел електронів. Особливістю цих джерел є: високочастотність радіаційна стійкість; здатність працювати при фантастично низьких напругах і потужностях живлення; висока (субмікронна) мініатюризація.

II. Фізичні властивості алмазоподібних плівок (особливість конфігураційної структури алмазних плівок вуглецю)

Як відомо, кристалічна структура алмазу має гранецентровану кубічну конфігурацію (ГЦК) (рис. 1). Вона формується з елементарних комірок, що охоплюють центральний атом і чотири сусідні атоми, які утворюють конфігурацію правильного тетраедра (тетраедрична конфігурація- ТК) (рис. 2). Таку конфігурацію мають багато речовин, в яких кожен атом може створювати чотири валентні

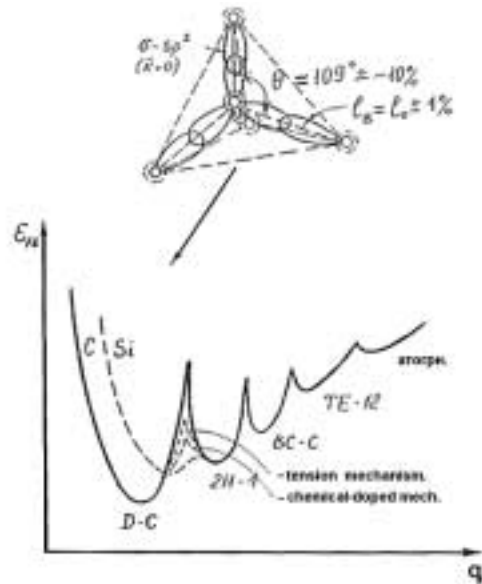


Рис. 2. Орієнтація sp^3 -гібридних орбіталей та фазова діаграма елементів 4-ї групи (C та Si).

зв'язки з найближчими сусідами, а саме, це – всі елементи 4-ї групи періодичної системи (вуглець C, германій Ge, силіцій Si, карбід силіцію SiC, силіцид германію SiGe), а також елементи, розташовані симетрично відносно 4-ї групи: 3-5, 2-6.

Однак саме вуглець формує таку кристалічну конфігурацію, як алмаз, що характеризується унікальними фізичними властивостями: надвисокою механічною міцністю, специфічними оптичними властивостями, особливими електричними даними, хімічною стійкістю та ін.

Отже впливає питання, чому алмазна конфігурація має такі специфічні властивості по відношенню до інших ГЦК матеріалів. Розглянемо співвідношень для матричних елементів міжатомної взаємодії, що задають силу хімічного зв'язку між сусідніми атомами (I-J) в кристалічній ґратці:

$$V_{ij\alpha} = \frac{\eta_{ij\alpha} \eta}{md^2}, \quad (1)$$

де d – відстань між сусідніми атомами, η_{ij} константа взаємодії, що відноситься до матричних елементів різних гібридизованих орбіталей

Таблиця 1

Деякі структурні та зонні параметри типових напівпровідникових кристалів (V -матричний елемент та E_v – енергія валентного зв'язку)

Речовина	V, eV	E_v, eV	$d_m, \text{Å}$	$d_k, \text{Å}$
C	6,94	11,1	1,3	1,2
Ge	2,76	8,1	2,5	2,45
Si	2,96	8,3	2,35	2,0
Sn	2,1	7,5	2,8	-
GaAs	2,74	-	-	2,45
SiC	4,7	-	-	1,88
BN	6,7	-	-	1,57
SiN	6,7	16,2	-	1,9
AlN	4,6	13,8	-	1,9
GaN	4,4	13,7	-	1,94
InN	3,6	13	-	2,15

валентних електронів: $SS\sigma$, $SP\sigma$, $PP\sigma$, $PP\pi$, що саме і утворюють хімічні зв'язки. Аналізуючи це співвідношення, прийдемо до таких висновків.

1) Константи $\eta_{ij\alpha}$ мають для кубічної структури вуглецю істотно більшу величину, ніж для інших речовин. Якщо для вуглецю константа матричних елементів для вказаних вище типів гібридних орбіталей відповідно рівні:

$$-1,4; -1,9; -3,2; -0,9$$

то для інших елементів вони є істотно меншими [1-6].

2) Величини d для алмазу є найменшими з усіх, які зустрічаються в природі. Оскільки $V_{ij\alpha} \sim 1/d^2$, то ця відмінність ще більш посилюється щодо величини сили хімічного зв'язку, а отже найбільш міцним з твердих тіл (для умов кімнатної температури, атмосферного тиску та інших звичайних на поверхні землі параметрів) є алмазоподібна конфігурація вуглецю. Нижченаведена таблиця 1 ілюструє це по деяким важливим параметрам: енергія гібридних зв'язків E_r , матричним елементам V валентних зв'язків, довжинам молекулярних зв'язків d_m , та довжиною зв'язків в кристалічному стані d_k .

Нарешті, має місце ще один важливий фактор, що обумовлює поведінку алмазоподібних кристалів, а саме, формування хімічних зв'язків саме завдяки гібридизації s та p електронних хвиль валентних орбіт. У випадку гібридизації $1S$ та 3 -х P маємо досить сильно зорієнтовані "розеткоподібні" електронні орбіталі sp^3 , що характеризуються великою сталістю довжини і відносно сильною гнучкістю направленості (тобто кутів орієнтації зв'язку). Таким чином, у відповідності з умовою мінімуму вільної енергії буде встановлюватись саме тетраедрична конфігурація з правильним тетраедром і такими довжинами, які задаються міжатомними та міжтетраедричними відстанями, є мінімальними для вуглецевих атомів.

Алмазний етан вуглецю формується, як відомо, в екстремальних умовах високого тиску, значних температур та ін., а для штучного процесу використовуються хімічні реакції каталітичного типу. Одним із таких стимулюючих елементів для вуглецю є, зокрема, азот. Однак, і при цьому потрібно витримувати досить високі вимоги до тиску, температури так як критичним є хімічний склад вихідних компонентів.

III. Принципи формування алмазоподібних вуглецевих плівок

Зовсім інша ситуація складається у випадку формування так званих алмазоподібних плівок. Тут вихідною використовують молекулярну тетраедричну структуру, яку має метан CH_4 . На основі цієї газоподібної речовини формується твердотільна фаза, що має змінний хімічний склад C_xH_y , збагачений на вуглець у від 0 до 2.

Величина $y = 0$ є чистий вуглець, при збільшенні у рухаємось до збагаченої воднем фази. Іншим

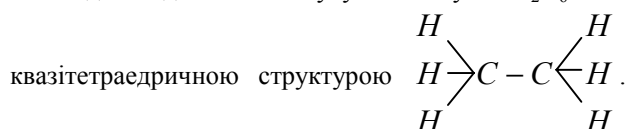
"зміцнюючим" фактором є атоми азоту N , енергія гібридного зв'язку яких з атомом вуглецю, згідно теоретичних розрахунків, складає дуже велику величину ($E_K \sim 14,5\text{eV}$, $d_m \cong 1,1 \text{ \AA}$).

Молекули CH_4 по симетрії належить до групи T_d , і є базисною всіх органічних молекул. Особливості хімічних зв'язків цієї молекули є те, що тут відсутні неподілені пари, оскільки всі валентні оболонки зайняті (отже «відсутні донорно-акцепторні зв'язки»). Формуються 4 хімічні зв'язки шляхом гібридизації 4-х вуглецевих орбіталей $2s, 2p_x, 2p_y, 2p_z$ (2-га орбіталь $n = 2$) та 4H орбіталей (s_1, s_2, s_3, s_4), причому s орбіталь слабо гібридується, в зв'язку з чим зв'язок в молекулі CH_4 є не дуже сильним. Хвильова функція молекулярного зв'язку має вигляд:

$$\Phi = \Phi_{C(S)} \pm (\Phi_{S1} \pm \Phi_{S2} \pm \Phi_{S3} \pm \Phi_{S4}). \quad (2)$$

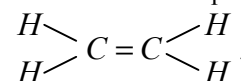
Сформовані орбіталі є багатоцентровані, оскільки p_x, p_y, p_z мають різну симетрію і тому не можуть одночасно формувати всі разом одну багатоцентрову орбіталь. В результаті встановлюється кут тетраедричних зв'язків $\theta = 109^\circ 30'$ енергія зв'язку $C-H$ $E_{зв} = 415 \text{ кДж/моль}$ ($4,3 \text{ eV}$).

При звичайних умовах міжмолекулярні зв'язки для метану є досить слабкими (поляризаційними), оскільки валентні електрони орбіталі локалізовані до центру тетраедра. Тому характерним є хімічна інертність (так звані "хімічні мертв'яки"). Розрив деякої частини цих зв'язків дає можливість створення сильних зв'язків $C-C$, а в умовах багатомолекулярних взаємодій – створення вуглецевих ланцюжків $C-C-C-\dots$. Зокрема, видалення по одному атому водню H при міжмолекулярній взаємодії дає молекулу етану C_2H_6 з



Етан є другою молекулою в гомологічному ряду алканів – вуглеводів (формула C_nH_{2n+2} , $n = 1, 2, \dots$ з 7-ма зв'язками (1 $C-C$ та 6 $C-H$), з тетраедричними зв'язками ($E_{зв} = 345 \text{ кДж/моль}$ ($3,7 \text{ eV}$) $E_{зв} = 4$ і 3 кДж/моль ($4,3 \text{ eV}$)).

При видаленні з кожної молекули 2-х атомів водню у зв'язуючій взаємодії таких осколків (кластерів) виникають молекули етилена C_2H_4 , що мають структуру майже плоского характеру:



Тут зв'язок з атомами водню вже не є тетраедричним (sp^3), а менш направлений, "плоский" sp^2 . Результатом цього є зростання хімічної активності, що обумовлено появою слабого негібридного sp^2 -зв'язку відносно z -площини. Етилен є базисною молекулою алкенів (оліфен- ненасичених сполук C_nH_{2n} , $n = 2, \dots$), де зв'язок $C = C$ є подвійним sp гібридним зв'язком, як і в молекулі $C = C$. При енергії зв'язку молекул менше $0,1-0,3 \text{ eV}$ маємо їх газоподібну фазу, при $0,5 \text{ eV}$ – рідку, а для величин $1-4 \text{ eV}$ – тверде тіло.

Таким чином, молекула метану та етану може розглядатись як стартова для формування тетраедричної алмазної структури, в той час як молекула етилену – як стартова для формування графіту. Молекули водню "консервують" той чи інший конфігураційний порядок як в розташуванні молекул, так і в самій структурній сітці вуглецевих томів. Отже, поступово видаляючи атоми водню та замінюючи їх атомами вуглецю (ізолюваними чи з фрагментів молекул), можна сподіватись зберегти (приблизно) ту структуру, яку мала стартова молекула (а саме, тетраедричну, як у алмаза, чи плоску, як у графіту). Реально, очевидно, можна чекати змішаної структури, що частково включає як першу, так і другу конфігурацію. Така змішана конфігурація носить назву sp^3/sp^2 -структури, при 100% sp^3 відповідає алмазу, тоді як 100% sp^2 -чистий графіт.

IV. Техніка нанесення плівок АВП

Зупинимось на конкретних технологіях отримання АВП. Існує принаймні три методи отримання АВП:

1. Лазерне або електронно-пучкове розпилення вуглецю (графіту) у водневій (чи азотно-водневій) газовій атмосфері (lasor deposition).
2. Стимульоване плазмою хімічне осадження з газів (PE-CVD- plasma; enhanced chemical vapour deposition).
3. Піролітичні реакції створення АВП.

У випадку 1 використовується імпульсний неодимовий лазер що опромінює графітову мішень. Розпилене "полум'я" містить у собі сильно йонізовані атоми (та мікрокластери) вуглецю, що інтенсивно бомбардують підкладку (склад якої не є критичним; це можуть бути як напівпровідники типу силіцію, так і скло і метали). При цьому формується дуже щільна фаза вуглецю, стан якого до 80% може характеризуватися sp^3 -тетраедричними зв'язками, спотвореними дефектами чи розорієнтацією, що ефективно може бути описаною як sp^2 та sp -слабонаправленими зв'язками. Стимулює створення sp^3 зв'язків домішок молекул H_2 чи N_2 , навіть у невеликих кількостях. Певним недоліком цього методу є проблеми створення однорідних по товщині та оптичних характеристиках плівок на великих (більше 10 cm^2) площах.

Цей недолік, а також можливість проведення

реакцій в більш "спокійному", контрольованому режимі, відсутній у плазмових методиках. Звичайна система включає тліючий розряд в 2 (3-х)-електродній системі (glow discharge-CVD). Діаметр пластинок, між якими створюється плазма, становить 200 мм та більше, що забезпечує високу однорідність формування АППВ на великій площі. Радіочастотний генератор 13.6 МГц підключається до нижнього електрода, верхній є відліковим, заземлений. Гази метан, CH_4 , H_2 (або N_2 , H_2+N_2) вводяться через верхній електрод, а підкладка для наплення розміщувалась на нижньому охолоджуваному електроді. Вакуумна камера з нержавіючої сталі відкачувалась перед кожним напилувальним циклом. Тиск в камері під час реакції варіювався від 0,1 до 0,8 тор, напруга- в діапазоні 500-2000 В при інших фіксованих параметрах. Саме цей метод використовувався в наших дослідях.

V. Властивості АППВ

5.1. Загальні характеристики

Розглянемо деякі властивості вуглецевих станів що, як відмічалось, є політипним матеріалом; в твердому стані він може існувати в різних формах: алмаз, графіт, алмазоподібний стан, розчин алмазу з воднем, азотом, та ін. В табл. 2 проведено порівняння ряду параметрів (електропровідність σ , енергії забороненої зони E_g , густини D , міцність H) для деяких характерних типів вуглецевої фази:

Таким чином, існує такий стан вуглецевих плівок, який по багатьом параметрам (твердості, Ізоляційним властивостям, ширині зони) наближається до кристалічного алмазу, причому атомно-молекулярна структура такої речовини є надзвичайно гнучкою, що забезпечується, зокрема, включенням водневої компоненти, яка створює відносно слабкі зв'язки між окремими уже сформованими тетраедрами, до деякої міри створеними завдяки відповідним поворотам і зміщенням в просторі вихідних "цеглинок" тетраедричної структури. Частково це забезпечується легкістю регібридизації і міжвуглецевих зв'язків (завдяки аллотропності елемента вуглецю). Отже вказані властивості саме базового матеріалу С і обумовлюють його багатофункціональні можливості як в неорганічній сфері так і в сфері органічних речовин – аж до живої природи.

Таблиця 2

Параметри вуглецевих фаз

	$\sigma, \text{Om}^{-1}\text{cm}^{-1}$	E_g, eV	$D, \text{g/cm}^3$	$H, \text{kP/mm}^2$
алмаз	10^{-18}	5,5	3,5	10^4
графіт	$2 \cdot 10^4$	-0,04	2,27	0.1
склогграфіт	10^2-10^3	0,01	1,3-1,55	10^3
напил.ам.С	10	0,4-0,7	2	20-50
йоннопл.ам.С	10^{-2}	0,4-3	1,8-2,7	50-100
а -С:Н	$10^{-7}-10^{-16}$	1,5-4	1,4-1,8	$10^3-2 \cdot 10^3$

5.2. Зонна структура

Особливістю її є те, що в залежності від конкретної конфігураційної будови навіть сполучення тетраєдрів в кільця ($n = 4-8$) структура зон змінюється від такої, що не містить забороненої зони ($n = 8,7$), або досить широку зону ($n = 5$). В цілому можна констатувати, що мілкодисперсна (квазіаморфна, з крупними кластерами-глобулами, що утворюють примітивні мікрокристаліти) структура являє собою співіснування в реальному просторі двох підсистем – тетраєдричної алмазоподібної, що має непрямоzonну конфігурацію з шириною забороненої зони 2-4 eV (для алмазу 5,5 eV) зі зміщеним мінімумом близьким до точки зони Бріллюена L(111), а в центрі (Γ) відстань досягає 10 eV, та майже "плоску" (зі слабкою дисперсією в просторі квазіімпульсів) зону графітоподібного стану, що енергетично розташована в забороненій зоні алмазу (рис. 3).

5.3. Електричні властивості

Ця "вузька зона" характеризується досить значною густиною вільних носіїв (10^{19} см^{-3}), але в зв'язку з малою рухливістю цих носіїв (великою ефективною масою) ці носії не можуть забезпечити металічної провідності, і, отже, для підвищення провідності таких плівок потрібне їх легування "мілкими" домішками (типу P та ін.) В звичайних умовах як алмаз, так і АППВ мають провідність р-типу. Отже, щоб отримати електронну провідність (а також р-n переходи) необхідно розвивати методи високого легування донорними домішками або створювати відповідні асоціації – домішково-структурно дефектні центри. Основою таких центрів є імплантація атомів азоту, фосфору чи водню.

Даний напрямок (управління електричними властивостями) знаходиться на початковому стані. Однак один унікальний результат тут уже отримано.

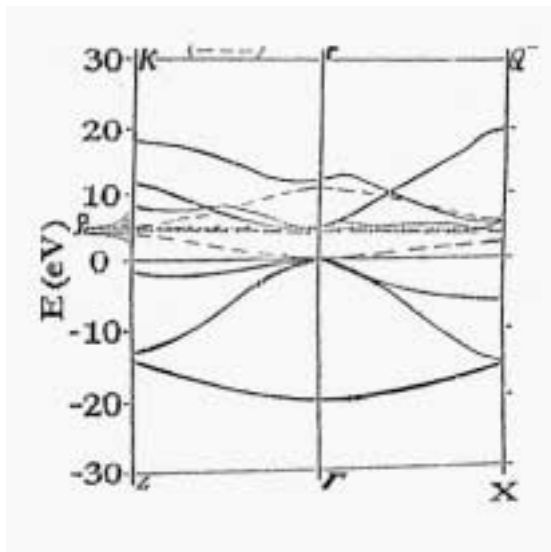


Рис. 3. Зонна структура співіснуючих sp^3 та sp^2 конфігурацій.

Справа йде про емісійні властивості плівок АППВ в області так званої "холодної" (польової) емісії електронів. Це явище лежить в основі нового класу приладів як транзисторного балістичного типу (в якому завдяки відсутності хвилі просторового заряду, реалізуються надвисокочастотні динамічні процеси), так і для створення ультраплоских екранів (дисплеїв) нового покоління. Суть полягає в тому, що робота виходу з АППВ виявилась досить малою, і, що ще важливіше, доступна для зміни в широкому діапазоні вже розробленими технологічними методами. На рис. 4 ілюструються отримані нами дані по варіації роботи виходу ρ в діапазоні до величин, менших 1 eV. Оскільки польова емісія підкоряється тунельно-польовому механізму Фаулера-Нордгейма:

$$I_e = \alpha C_{FN} (pV)^2 \exp\left(\frac{-4(2m^*z)^{1/2} \rho^{3/2}}{3\hbar e pV}\right), \quad (3)$$

то вже невелике зменшення роботи виходу різко збільшить емісійний струм. Таким чином, реальним стає отримання низковольтної польової емісії, що раніше було недосяжним для всіх відомих речовин [7,8].

5.4. Оптичні характеристики

Оптичні характеристики АППВ є також унікальними. Приведені в цілому ряді робіт результати свідчать про велику гнучкість даного матеріалу до створення раніше неможливого "співіснування" різних оптичних параметрів. Зокрема, змінюючи склад по водню можна, було змінювати величину забороненої зони в діапазоні від подібної до графіту до близької для алмазу (рис. 5-7). При цьому в широкому діапазоні змінювались величини показника заломлення n та поглинання - від величин характерних для металічного стану, так і типово діелектричного. Використовуючи оптичні характеристики можна було розрахувати ступінь

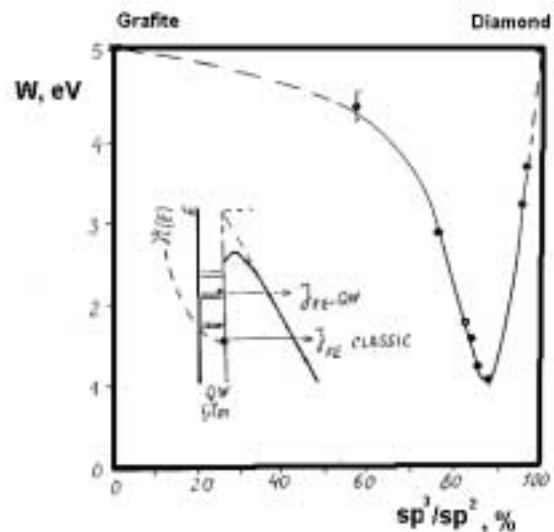


Рис. 4. Зміна роботи виходу W від співвідношення sp^3/sp^2 для АППВ.

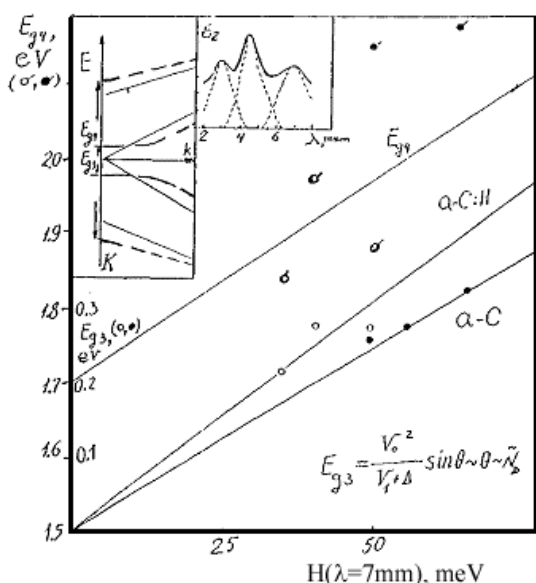


Рис. 5. Залежність ширини забороненої зони E_g від ширини ліній $H(\lambda)$.

деформації sp^3 -зв'язків, обумовлену наявністю sp^2 -зв'язків для різних конфігурацій АППВ. Відповідні дані в термінах відношення кількості sp^3 до sp^2 зв'язків, а також кутів деформації θ , приведені на рис. 6, що ілюструють величину різнобічності оптичних параметрів даної речовини [9].

VI. Висновки

Підсумовуємо області використання алмазних (алмазоподібних) плівок. По-перше це надвисокочастотні гострийні транзисторні, тиристорні та інші структури дискретної та інтегральної електроніки, стабільні в умовах жорсткої радіації, механічних та електричних перевантажень.

Інша широка область – створення високоякісних дисплеїв для надшвидкісного зйому оптичної інформації з низьковольтним живленням та надтонкою (листоподібною) структурою. А з інших перспективних напрямків використання – створення гетеропереходів з кремнієвим матеріалом, виготовлення стабільних сонячних елементів, гетерні структури та ін.

Дослідження та використання вказаних структур на базі алмазних плівок, хоч і розгорнуті широким фронтом, знаходяться на початковій стадії. Ряд установ НАН України досить активно включились в цю діяльність і мають свою "нішу" в цій галузі. Зокрема, спільні роботи по розробці оптимальних режимів формування низьковольтних катодів виконуються починаючи з 1994 р. спільно Інститутами фізики напівпровідників, надтвердих матеріалів НАНУ та Інституту мікроприладів (Мінмашпром). Тими ж інститутами виконаний цикл

робіт по використанню гетероструктур Д / С / Si для ефективного просвітлення та зниження рекомбінаційних втрат в сонячних елементах.

Розроблене технологічне устаткування для одержання алмазних /А/ та АПП плівок, формування гострийних матриць, проведена підготовча робота по виготовленню плоских гострийних дисплеїв та інше.

VII. Перспективи

Виконані фундаментальні теоретичні роботи вказують на великі потенціальні резерви для подальшого підвищення ефективності холодної емісії та розробки нових приладів електроніки, а саме - магніточутливих елементів, монохроматичних емісійних джерел, реалізації квантоворозмірних процесів, поляризаційні ефекти та інше. Перспективними є такі напрямки:

1. Теоретичне вивчення і моделювання зонних, коливних, структурних та емісійних властивостей алмазних і алмазоподібних плівок.

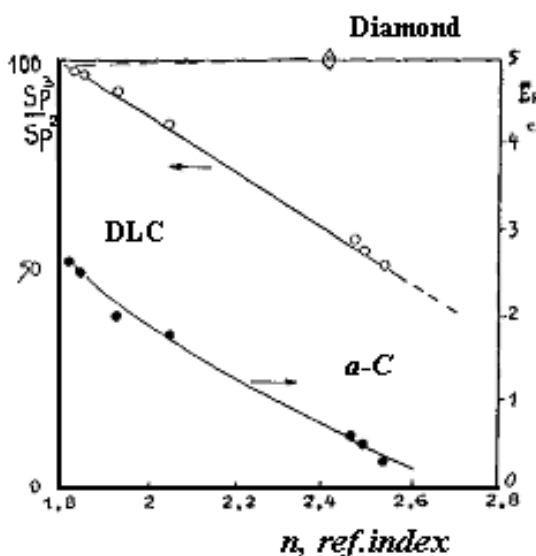


Рис. 7. Залежність sp^3/sp^2 та E_g від n .

2. Розробка і оптимізація технологій отримання алмазних і АПП плівок, в тому числі легованих.

3. Експериментальні дослідження властивостей алмазних і АПП плівок та приладних структур, виготовлених на її основі.

Доведення цих пропозицій до їх прикладного рівня дозволить отримати протягом 2-3 наступних років значні результати, великий економічний ефект та впровадити ці розробки у сенсорну, інформаційну та деякі інші галузі промисловості.

Робота виконана в рамках державного проекту фундаментальних досліджень, Російсько-Українського Проекту “Нанофізика та наноелектроніка” та INTAS project 2001-P01-0009.

Литовченко В.Г. – член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділенням.

- [1] С. Joannopoulos, М. Cohcn. // *Phys. Rev.* **B8**(6), pp. 2733-2745.
- [2] W.A. Harrison. *Electronic structure and the properties of solids*, W.H. Freeman & Cj., San Francisco (1982).
- [3] V.G. Litovchenko, V.I. Gavrilenko, A.M. Grekhov. *Optical properties of semiconductors*. Naukova Dumka, Kiev (1987).
- [4] V.G. Litovchenko, V.I. Gavrilenko, N.I. Klyui and V.E. Strelnitskii. Characteristic Features of the Electronic Structure of Carbon Films // *Phys. Stat. Sol. (b)*, **145**, pp. 209-217 (1988).
- [5] V.G. Litovchenko, V.I. Gavrilenko, J. Humlicek and N.I. Klyui. Electron Energy Structure and Optical Properties of Microcrystalline Silicon // *Pliys. Stat. Sol. (b)*, **155**, pp. 723-732 (1989).
- [6] V.G. Litovchenko, V.I. Gavrilenko and N.I. Klyui, B.N.Romanyuk. Investigation of Ion Implanted Silicon by Electrorreflectance Spectroscopy // *Phys. Stat. Sol. (a)*, **112**, pp. 805-810 (1989).
- [7] A.A. Evtukh, V.G. Litovchciuto, R.I. Marchenko, N.I. Klyui, V.A.Semcnovich. Parameters of the tip arrays covered by low-work functionlayer. // *Proc. IVMS-95*, E-DS Publ, Portland, pp. 529-538 (1995).
- [8] A.A. Evtukh, V.G. Litovchenko, R.I. Marchenko, N.I. Klyui, V.A. Semcnovich, C. Nelep. Parameters of the tip arrays covered by low work function layers // *J. Vac. Sci. Technol.* **B14**(3), May/Jun. pp. 2130-2134 (1995).
- [9] В.Г. Литовченко. // *УФЖ*, **44**(9), с. 1164 (1999).

V.G. Lytovchenko

Diamond-Like Carbon Films as the Base of Creation Electronic Devices of a New Generation (review)

*Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine,
45, Nauki Av., Kyiv, 03028, Ukraine*

The physical base formation the diamond-like carbon (DLC) films from RF-CH₄ plasma and optical and structural parameters obtained material have been analised. The field of application of DLC films (antireflection coating for solar cells, tip-like electron field emission cathods, displays, HF – transistors etc.) have been summerized. Such devices are stable at hard radiation, under mechanical and electrical overloading. The technological equipment for preparation of diamond (D) and diamond-like films, fabrication of the tip-array matrix was developed, and perspective of application was described.